Q&A パルスオキシメータハンドブック

執筆者一覧　日本呼吸器学会肺生理専門委員会

金澤　實　埼玉医科大学呼吸器内科
（肺生理専門委員会委員長）

桑平　一郎　東海大学医学部付属東京病院呼吸器内科
（パルスオキシメータ小委員会委員長）

（以下五十音順）

一ノ瀬　正和　東北大学大学院医学系研究科内科病態学講座
一和多　俊男　東京医科大学八王子医療センター呼吸器内科
井上　博雅　鹿児島大学大学院医歯学総合研究科呼吸器内科学
植木　純　順天堂大学大学院医療看護学研究科臨床病態学分野呼吸器系
大森　久光　熊本大学大学院生命科学研究部先端生命医療科学部門医療技術科学講座
笠原　靖紀　千葉大学医学部呼吸器内科
桂　秀樹　東京女子医科大学八千代医療センター呼吸器内科
木村　弘　奈良県立医科大学医学部呼吸器内科
久保田　勝　北里大学医学部呼吸器内科学
黒澤　一　東北大学病院産業医学分野
小林　弘祐　北里大学大学院医療系研究科・医療衛生学部臨床工学
田口　修　三重大学医学部附属病院呼吸器内科
巽　浩一郎　千葉大学医学部呼吸器内科
栂　博久　金沢医科大学呼吸器内科学
長瀬　隆英　東京大学医学部呼吸器内科
仲村　秀俊　埼玉医科大学呼吸器内科
濱田　泰伸　広島大学大学院医歯薬保健学研究院生体機能解析制御科学
平井　豊博　京都大学大学院医学研究科呼吸器内科学
藤本　圭作　信州大学医学部附属病院保健学科検査技術科学専攻生体情報検査学講座
宮本　顕二　北海道大学大学院保健科学研究院機能回復学分野

執筆協力者一覧

（以下五十音順）

小荒井　晃　東北大学病院呼吸器内科
山内　基雄　奈良県立医科大学医学部呼吸器内科

一般社団法人日本呼吸器学会
http://www.jrs.or.jp/
〒113-0033　東京都文京区本郷3-28-8　日内会館7F
TEL：03-5805-3553　FAX：03-5805-3554

■編集協力／株式会社 法研
H26.4 初　① H26.4 ／ 15,000（計 15,000）

はじめに

日本呼吸器学会では、一般の医療従事者向けに、パルスオキシメータの測定方法と酸素飽和度 SpO_2 の評価について Q&A 形式でまとめた本小冊子『Q&A パルスオキシメータハンドブック』を作成しました。一般の医療従事者とは、プライマリーから専門領域の医師、看護師、検査技師、理学療法士など、呼吸困難などを訴える患者の診療にあたって SpO_2 の測定を行うすべての医療者を対象としたものです。

パルスオキシメータはわが国の日本光電工業(株)の技術者である青柳卓雄氏が発明したものです。その後ミノルタ〔現在のコニカミノルタ(株)〕が現在の主流となるパルスオキシメータを発売しました。比較的安価で、侵襲なく、簡単に SpO_2 が測れることから、医療者だけでなく、最近では在宅酸素療法をしている患者や、高地旅行や航空機内などで一般の人も利用されています。SpO_2 の測定自体は手軽ですが、測定値の理解には呼吸生理学的な基礎的理解が必要ですし、SpO_2 の低下は生命に直結する重要な情報です。正しく測定を行い、適切に対応することが求められています。

日本呼吸器学会肺生理専門委員会では、SpO_2 測定とその評価に関して生理学的な基本事項や精度管理、外来診療で遭遇する問題点、病棟や検査室での注意点、さらには6分間歩行試験や運動負荷試験での応用、睡眠中の評価などについて小冊子としてまとめを作成しました。この小冊子の作成にあたっては、コニカミノルタや日本光電工業の技術者の方にも監修に加わっていただきました。

呼吸は生命の維持にとって最も重要なものであり、酸素飽和度はその最も基本となる検査値の一つです。簡単手軽に測定できるが故に SpO_2 の測定には落とし穴もあり、無視し得ない貴重な情報も隠されています。ちょっと疑問に思ったときにこの小冊子を開いて、回答と解説を参照していただき、患者の治療やケアに活用していただくことを祈念しています。

2014 年 3 月

日本呼吸器学会　肺生理専門委員会　委員長　金澤　實

もくじ

生理学的基本事項

Q1：酸素飽和度の表記には SpO_2 と SaO_2 があります。違いは何ですか？ …… 004
Q2：SpO_2 が正常なら生体は低酸素状態にならないのですか？ …… 004
Q3：SpO_2 が正常なのに呼吸困難を訴える場合があります。なぜですか？ …… 005
Q4：肺から測定部位までの循環による遅れを考慮する必要がありますか？ …… 006

測定に影響する生体側の要因および関連事項

Q1：測定部位は影響しますか？ …… 007
Q2：測定値に影響する因子には何がありますか？ …… 008
Q3：測定に際し、プローブ取扱い上の注意点は何ですか？ …… 010

測定に影響する機器側の要因および関連事項

Q1：測定精度に国内外で統一された基準はありますか？ …… 012
Q2：応答性が機種によって異なりますが、なぜですか？ …… 012
Q3：2つの機種で測定値が違う時、どちらが正しいのですか？ 故障ですか？ …… 013
Q4：価格の違いは精度にも影響しますか？ …… 014
Q5：他社プローブを正規製品である本体に接続することは問題ないですか？ …… 014
Q6：体動ノイズ除去機能を有する機種がありますが、精度上何か注意すべき点はありますか？ …… 015

プローブ自体に関する注意事項

Q1：プローブは使用後に消毒が必要ですか？ …… 016
Q2：プローブで低温熱傷が生じることはあるのですか？ …… 016
Q3：繰り返し使用する際の耐久性については、どう考えたら良いですか？ …… 017
コラム　パルスオキシメータの歴史 …… 017

外来診療の中での疑問点

Q1：患者が診察室に入室してから、いつ測定するのが良いですか？ …… 018
Q2：手の冷たい人で値が安定しない時は、どうすれば良いですか？ …… 018
Q3：往診の際に、SpO_2 値がいくつであったら専門医に相談するべきですか？ …… 019
Q4：在宅酸素療法（HOT）の適応を判断する際、SpO_2 測定のみで良いですか？ …… 020
Q5：公的な診断書を提出する際、SpO_2 を測定する意義はありますか？ …… 020
Q6：航空機の機内でパルスオキシメータは正しく作動しますか？ …… 021

病棟や検査室での疑問点

Q1：ドクターコールする SpO_2 の値はいくつですか？ …… 022
Q2：パルスオキシメータと自動血圧計を同時に使用する際の注意点は？ …… 022
Q3：SpO_2 の値をいくつに維持するよう酸素吸入をすべきですか？ …… 023
Q4：体動時は数値が安定しません。どの値を見るべきですか？ …… 024
Q5：吸引して分泌物をとったのに、その後 SpO_2 が低下しました。なぜですか？ …… 025

6分間歩行試験（6MWT）や運動負荷試験の際の疑問点

Q1：SpO_2 が連続測定できる機種とできない機種がありますが、使用方法の違いは何ですか？ …… 026
Q2：安静時と運動中および運動後、SpO_2 をどのように評価しますか？ …… 026
Q3：運動中に SpO_2 値が低下する場合、どう評価したら良いですか？ …… 028
Q4：歩行を中断や中止した際の SpO_2 値の評価はどうしたら良いですか？ …… 029
Q5：SpO_2 値をワイヤレスでとばし、パソコン上に表示できる機器がありますが、データの解釈はどうすべきですか？ …… 029

睡眠時無呼吸での疑問点

Q1：簡易検査で用いられる酸素飽和度低下指数（ODI）は無呼吸低呼吸指数（AHI）と同じですか？ …… 030
Q2：無呼吸の時間が同じなら SpO_2 の低下の程度は同じですか？ …… 030
Q3：酸素飽和度低下指数（ODI）は肥満の影響を受けますか？ …… 031

● COI（利益相反）について
一般社団法人日本呼吸器学会は、COI（利益相反）委員会を設置し、内科系学会とともに策定した COI（利益相反）に関する共通指針ならびに細則に基づき、COI 状態を適正に管理している。〈COI（利益相反）については、学会ホームページに指針・書式等を掲載している。〉
以下に、「**Q&A パルスオキシメータハンドブック**」執筆者の COI 関連事項を示す。
1）研究助成金等に関する受入状況
（企業名）アステラス製薬㈱、エーザイ㈱、小野薬品工業㈱、グラクソ・スミスクライン㈱、中外製薬㈱、日本ベーリンガーインゲルハイム㈱、ノバルティス　ファーマ㈱、ファイザー㈱
2）講演料・原稿料等の受入状況
（企業名）アクテリオン　ファーマシューティカルズ　ジャパン㈱、アストラゼネカ㈱、㈱医学書院、MSD ㈱、杏林製薬㈱、グラクソ・スミスクライン㈱、第一三共㈱、武田薬品工業㈱、中外製薬㈱、㈱ツムラ、日本ベーリンガーインゲルハイム㈱、ノバルティス　ファーマ㈱、ファイザー㈱、㈱メディックメディア
3）作成委員の個人的収入に関する受け入れ状況
本学会の定めた開示基準に該当するものはない。

Q1 酸素飽和度の表記には SpO_2 と SaO_2 があります。違いは何ですか？

A SpO_2 はパルスオキシメータで測定した動脈血酸素飽和度を示します。SaO_2 は動脈血ガス分析値から計算で求める場合と、動脈血を CO オキシメータで直接測定する場合があります。

測定方法の違いから、表記も違っています

動脈血酸素飽和度（arterial oxygen saturation; SaO_2）は血液中のヘモグロビンの何％が酸素と結合しているかを表し、動脈血酸素分圧（PaO_2）と相関があります。SaO_2 は動脈血ガス分析装置に組み込まれた CO オキシメータで測定できますが、それに対し、経皮的にパルスオキシメータを用いて測定した SaO_2 は上記と区別するために SpO_2（percutaneous oxygen saturation）と表記されます。パルスオキシメータでは SpO_2 を測定するため指尖部などの組織に赤色光と赤外光の２つの波長の光を当て、脈拍による透過光の変化で動脈成分を識別します。また、酸化ヘモグロビンは赤色光をよく透過し、還元ヘモグロビンは赤色光を吸収するため、動脈血の吸光成分の各波長における吸光度の比から酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの比率を求め、SpO_2 を算出しています。

SpO_2 は測定が簡便だが、注意が必要

パルスオキシメータによる SpO_2 測定は簡便で、非侵襲的であり、持続的なモニタリングも可能ですが、測定を主に指先の毛細血管で行うため、寒冷による末梢血管収縮などの末梢循環障害、プローブの装着不良、汚れやマニキュアなどによる透光性低下、体動などの影響を受け、SaO_2 を正確に反映しない場合があることに注意が必要です。

参考文献
・日本呼吸器学会　肺生理専門委員会（編）．臨床呼吸機能検査　第７版．東京：メディカルレビュー社．2008.
・日本呼吸器学会 肺生理専門委員会，日本呼吸管理学会 酸素療法ガイドライン作成委員会（編）．酸素療法ガイドライン．東京：メディカルレビュー社．2006：72.

Q2 SpO_2 が正常なら生体は低酸素状態にならないのですか？

SpO_2 が正常でも生体における低酸素状態は生じることがあり、臓器の血流量低下、貧血、異常ヘモグロビンの存在する場合などがあります。

低酸素状態になる要因

生体組織への酸素供給は臓器への血流量により規定されており、この酸素供給量（oxygen delivery：DO_2）は、心拍出量と動脈血酸素含量（arterial oxygen content：CaO_2）を乗じた式で表され、動脈血酸素含量はヘモグロビン濃度に影響されます（表 1）。そのため、血液中の酸素含量が充分な状態でも、それを運搬する血液が、単位時間あたりに少ししか拍出されない、すなわち心拍出量が低下していると、組織への酸素供給量は不充分となり、また、ヘモグロビン濃度が低い場合も動脈血に含まれる酸素の量は低下します。

その他、異常ヘモグロビンが存在する場合にも生体における低酸素血症が生じます。主な異常ヘモグロビンには一酸化炭素中毒による一酸化炭素ヘモグロビン（CO-Hb）やニトログリセリンなどの亜硝酸薬、局所麻酔薬などの薬物、アニリンなどの化学物質によって出現したり、遺伝性に出現するメトヘモグロビン（Met-Hb：鉄が酸化され、三価の状態になったヘモグロビン）があります。これらの異常ヘモグロビンが存在するとパルスオキシメータによる SpO_2 の測定に誤差を生じます。SpO_2 の値のみでなく、動脈血ガス分析も必要になります。

参考文献
・日本呼吸器学会　肺生理専門委員会（編）．臨床呼吸機能検査　第７版．東京：メディカルレビュー社．2008.

表 1. 酸素供給に影響を与える因子

酸素供給量（DO_2）＝ CO × CaO_2

動脈血酸素含量（CaO_2）＝（1.34 × Hb × SaO_2 / 100）＋ PaO_2 × 0.003

CO：心拍出量（ℓ/min）、Hb：ヘモグロビン濃度（g/dℓ）、SaO_2：動脈血酸素飽和度（％）、PaO_2：動脈血酸素分圧（mmHg）

Q3 SpO_2 が正常なのに呼吸困難を訴える場合があります。なぜですか？

A SpO_2 の値が呼吸困難に直接結びつくわけではないからです。呼吸困難には、呼吸の努力感と充足感のバランスが大きく影響します。

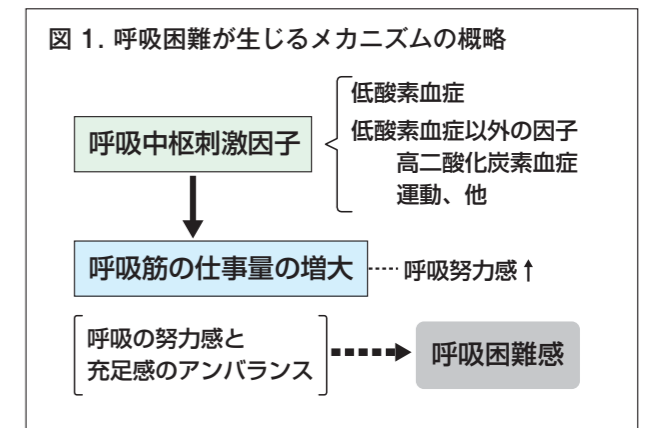
呼吸困難が起きる状況は様々

SpO_2 は動脈血酸素飽和度の指標ですので、低酸素血症の指標ともなります。低酸素血症は、頸動脈小体などの化学受容体を刺激します。この情報は中枢神経系にフィードバックされて、直接的に不快感を起こしたり、呼吸中枢刺激による呼吸努力の増大を通し間接的に呼吸困難を起こしたりします。

一方、低酸素血症以外にも、高二酸化炭素血症や運動による呼吸刺激、心理的な興奮、外気温度の上昇、疾患による換気障害、など様々な刺激を通して、呼吸中枢は換気を増大させようと横隔膜などの呼吸筋に呼吸努力を指令します。呼吸の努力と充足感のバランスは、中枢神経系により判断され、状況によって呼吸困難と感知されます。

呼吸困難が起こる状況は、必ずしも低酸素血症とは限りません。例えば、能力の限界近くまで激しい運動をした健常人の場合、呼吸数も１回換気量も限界に達し、呼吸努力は最大となり、運動直後しばらくは、呼吸が苦しい状態が続くでしょう。臨床の運動負荷試験などで、健常人で最大負荷まで行った場合などと同様です。このような場合、SpO_2 がそれほど低下するということはほとんどありません。SpO_2 値が正常なのに呼吸困難を訴える、ということは珍しくないのです。

臨床では、特に SpO_2 が良好な場合には、呼吸困難がないものと勘違いして思い込みやすいものです。例えば、十分な酸素療法を既に行っている喘息発作や慢性閉塞性肺疾患（COPD）急性増悪の患者などを想像してみてください。呼吸困難を訴えていても、酸素療法のおかげで SpO_2 は正常かもしれません。しかし、実際は、発作による気管支収縮などによって十分に呼吸できない状況は、臨床ではよく見られることです。特に、このような状況では、SpO_2 が良好で、苦しいのは気のせいだと誤認されやすいのです。患者の切実な訴えが理解できずに正しい対応が行われない状況になり得ますので注意が必要です。

図 1. 呼吸困難が生じるメカニズムの概略

参考文献
・日本呼吸器学会　肺生理専門委員会（編）．臨床呼吸機能検査　第７版．東京：メディカルレビュー社．2008.

Q4 肺から測定部位までの循環による遅れを考慮する必要がありますか？

A 循環による遅れが存在します。安静時の SpO_2 の評価では問題になりませんが、変動する SpO_2 の評価では、場合に応じて考慮すべきです。

遅延が起こる要因を把握しておく

無呼吸から呼吸を再開する場合や、酸素投与した場合に、即時に SpO_2 が反応せずに、10 秒から 30 秒くらいの遅れが生じることは、しばしば経験されます。これらの遅延の原因として、健常者では、生理的および機械的な要因が考えられます。前者では、肺胞気の組成が変化するまでの時間などもありますが、メインは循環のための時間です。肺循環で赤血球が肺胞を通って酸素化されてから左心房に到達するまで 2 ～ 3 秒かかり、左心室から末梢の循環まで届くまでも数秒から部位によっては 10 秒以上の時間がかかります。

実際に測定して得られる遅延時間には、機械的な要因が加わります。SpO_2 の値をどのように出力しているかによって生じるもので、機械ごとに異なっています。また、一般に、SpO_2 は、一定時間、あるいは一定の脈拍数ごとに得られた値を移動平均により求められているため、この時間の長さの設定にも影響を受けます。機器によっては、この設定が可変になっている場合がありますので、移動平均時間を短くすれば、測定値が変動しやすくなる代わりに遅延は少なくなりますし、長くすれば測定値が安定する代わりに遅延は大きくなります。肺疾患や循環器疾患を持つ患者では、これらに病的な要因が加わります。すなわち、肺胞気の組成変化や肺および体循環の循環時間の変化などによる因子です。

測定の状況が安静時であれば、これらの遅延は考慮する必要がありませんが、酸素を投与、運動、体位変換など呼吸循環動態が変化した直後などには、測定値に遅延が起こることを考慮しながら測定を行うなど、状況に応じた対応をとるべきです。また、睡眠時の呼吸の検査などで、睡眠時間全体で評価する場合には問題ありません。しかし、無呼吸イベントの前後における変化などにフォーカスを当てる場合では、換気指標等と SpO_2 変化のタイミングには遅延があることを認識しておくべきです。

表 2. SpO_2 測定値に遅延が起こる要因

要因	内容
1. 機械的要因	機器自体の応答性、移動平均の設定時間 など
2. 生理的要因	肺胞から末梢循環までの到達時間 など
3. 病的要因	循環時間の延長（例えば心不全）など

Q1 測定部位は影響しますか？

A 十分な脈波信号を得られる部位に発光部と受光部が位置し、外部光が回り込まない適切なサイズのプローブであれば測定部位に影響を受けません。

パルスオキシメータのプローブの種類と測定部位の影響

パルスオキシメータのプローブには透過型と反射型がありますが、SpO_2 を測定する対象の測定部位や用途により多種類のものが使用されています。透過型プローブは、手指を挟むフィンガークリップタイプが従来から使用されていますが、手指を差し込むタイプ、粘着テープで固定するタイプやディスポーザブルタイプがあります。装着する反射型プローブは、発光部と受光部が同一面に存在し、前額部などに装着します。

手指・足趾・耳朶などに使用する際、受光部で検出するシグナルレベルは非常に小さいため、正確な値を得るためには装着部位の厚みや装着状態に注意しなければなりません。

発光部と受光部の間隔が広くなるに従って透過光強度が低下し、反対に、間隔が狭いと血流が少なくなって脈波シグナルが小さくなるため、通常 6 ～ 18mm 厚（10mm 程度が最適）の部位に装着します。耳朶での測定は、耳朶厚が 10mm 以下で血流量が少なく脈波シグナルが小さいため、手指・足趾で測定する方が良いでしょう。しかし、四肢末梢循環不全状態では、比較的血流が保たれる耳朶や前額部にプローブを装着して測定した方がより正確でしょう。

フィンガークリップタイプのプローブで測定する場合は、発光部と受光部が爪の生え際付近の位置に装着すると脈波シグナルが比較的大きくなり、関節部位に装着すると脈波シグナルが小さくなります。また、先端と指先に隙間ができると外部光が回り込みやすくなるため、被験者に合わせ、隙間の空かないプローブを選択します。指を 90 度、180 度に回しても、十分な脈波シグナルを得られ、外部光が回り込まなければ、正確な SpO_2 値が得られますが、通常は発光部を爪側にします。爪白癬症で爪が著しく肥厚し、表面が凹凸の場合には、発光部と受光部の間隔や外部光が回り込むことに注意しなければなりません。

粘着テープで固定するタイプとディスポーザブルプローブは、発光部と受光部が互いに対向しないと、生体を透過しない外部光が、受光部に回り込みやすくなる可能性が大きくなります。

なお前出（P6. Q4）にあるように、動脈血ガスの変化は主として循環による遅れのために、手指で耳朶より数秒、足趾ではそれ以上に遅れるため、足趾に装着したプローブでは、呼吸状態の変動をすばやく捉えることができない点は考慮する必要があります。

参考文献

・American Association for Respiratory Care. Clinical Practice Guideline: Pulse oximetry. Respir Care 1991 ; 36 : 1406-9.
・日本呼吸器学会　肺生理専門委員会「呼吸機能検査ガイドラインⅡ」作成委員会（編）. 呼吸機能検査ガイドラインⅡ ― 血液ガス，パルスオキシメーター―．東京：メディカルレビュー社．2006.
・SpO_2 モニタリング　測定精度　評価レポート．日本光電工業.
・SpO_2 モニタリング　パフォーマンスダイジェスト．日本光電工業.

Q2 測定値に影響する因子には何がありますか？

プローブ装着不良、吸光度曲線に混入するノイズ、吸光度曲線の測定障害、透過光強度の減弱をする物質の存在により測定値が影響されます。

正確な吸光度曲線が得られないと誤差を生じます

最近のパルスオキシメータは、誤差要因となる各因子の影響を少なくするように改良が進んできましたが、測定誤差を生じる要因がいくつかあり、使用に際してはこれらのことに留意する必要があります。

〈パルスオキシメータの誤差要因〉

①プローブ装着不良
②吸光度曲線に混入するノイズ
③吸光度曲線の測定障害
④透過光強度の減弱をする物質の存在

①プローブの装着が不良；
プローブの装着が不良であると、測定に必要な脈波信号が得られずに SpO_2 が低下します。また、プローブの発光部と受光部の汚れも、脈波信号が減弱する原因となります。

②吸光度曲線に混入するノイズ；
吸光度曲線に混入するノイズの原因として、体動・電磁波・外部光などがあります。体動は、静脈血や周囲組織の吸光度を変化させ、特に心拍数の倍数に近い周期的な体動は誤差を生じ易くします。テレビなどの電化製品、携帯電話の使用時や電気メスなどの電磁放射の多い医療機器の近くで測定すると、電磁波の影響により正確に測定ができないことがあります。また、照明灯、蛍光灯、赤外線加熱ランプ、直射日光などの外部光が強すぎると、誤差の原因となります。

③吸光度曲線の測定障害；
吸光度曲線の測定障害としては、寒冷による血管の収縮や血管の圧迫により血流が減少すると、透過光量の変動情報が得られずに正確な測定が困難となることがあります。

④透過光強度の減弱をする物質の存在；
透過光強度の減弱をする物質の存在としては、異常ヘモグロビン、体内に注入された色素、マニキュアや皮膚の色素沈着などがあります。異常ヘモグロビンは、喫煙や一酸化炭素中毒による一酸化炭素ヘモグロビン（CO-Hb）や亜硝酸薬・抗不整脈薬などの服用によるメトヘモグロビン（Met-Hb）などがあります。検査で使用するインドシアニングリーン（ICG）やカルディオグリーン、重症メトヘモグロビン血症の治療に用いるメチレンブルーの静注は、透過光強度に影響します。マニキュアや皮膚の色素沈着などは透過光を吸収するため、生体を透過する脈波シグナルが変化します。

1 一酸化炭素ヘモグロビン（CO-Hb）やメトヘモグロビン（Met-Hb）などの異常ヘモグロビンの存在は？

パルスオキシメータは、酸化ヘモグロビン（O_2-Hb）と還元ヘモグロビン（Hb）の和を全ヘモグロビンと仮定して SpO_2 を算出しており、CO-HbやMet-Hbなどの異常ヘモグロビンが存在すると誤差を生じます。パルスオキシメータは、二波長の吸光度を分析しているため、これらの異常ヘモグロビンを識別できません。CO-Hb も Met-Hb も赤色光と赤外光吸光度の比率が、酸素飽和度が低下したときの血液と同じ傾向を示しますので、いずれも SpO_2 の正確な測定はできません。

2 マニキュアの色、皮膚の色素沈着、熱傷の瘢痕は？

爪にマニキュアを塗っていると、マニキュアが LED の透過光を吸収するため、生体を透過する光量成分を減少させ誤差を生じます。特に緑色、青色、茶色などのマニキュアは光量を減少させる率も高く、SpO_2 を低下させる可能性があるため、除光液でマニキュアを落としてプローブを装着します。黒色のマニキュアや皮膚の色素沈着は透過光強度を低下させ、また色素が沈着した熱傷の瘢痕も同様に SpO_2 の誤差の原因となります。

3 インドシアニングリーン（ICG）などの色素やビリルビンの影響は？

肝機能検査で用いる ICG、心拍出量の測定に用いるカルディオグリーンや重症メトヘモグロビン血症の治療に用いるメチレンブルーなど色素の静脈内投与は、青色と緑色の吸光度は 660nm（赤色光）付近で高く、940nm（赤外光）付近で低いため還元ヘモグロビン（Hb）と同様な変化を示し、SpO_2 は低下します。ビリルビン >20mg/dl の高度な黄疸症例を除いた検討では、黄疸は SpO_2 に影響しません。

4 亜硝酸薬・抗不整脈薬などの内服の影響は？

メトヘモグロビン（Met-Hb）は、ニトログリセリンやニトロールなど亜硝酸薬、リドカインやプロカインなどの抗不整脈薬、局所麻酔薬などの薬剤、アニリンなどの化学物質によって出現します。Met-Hb の 660nm と 940nm 波長での吸光度が酸化ヘモグロビン（O_2-Hb）と類似しており、SaO_2 が 85%以上では SpO_2 測定値を低下させ、85%以下では上昇させます。なお、メトヘモグロビンはヘモグロビンの鉄が酸化されて三価になったもので酸素と結合できず、増加する酸素の運搬が障害されます。メトヘモグロビン中毒の治療としてメチレンブルーが静注されますが、前述したようにメチレンブルーを静注すると SpO_2 は低下します。

5 末梢循環不全、例えば冬の寒い時は？

冬の寒い時などでは手指などの末梢の血管が収縮すると、血流が減少して拍動が減弱～消失します。末梢循環不全では透過光量の変動情報が得られずに正確な測定が困難になることがあります。このような場合には、手指をマッサージしたり温めたりして血流を促進するか、あるいは血流の良い他の手指で測定します。また、長時間連続測定用の粘着テープで固定するタイプのプローブを、強く固定し過ぎると血管が圧迫されて血流が阻害されます。

Q3 測定に際し、プローブ取扱い上の注意点は何ですか？

A プローブの移動、外部光、測定する状況等によって SpO_2 値が影響されることに留意して、体型や体重に応じたプローブを選択します。

プローブの装着状況によって SpO_2 は誤差を生じます

前述したようにパルスオキシメータのプローブには透過型と反射型があり、透過型プローブは、手指を挟むフィンガークリップタイプ、手指を差し込むタイプ、粘着テープで固定するタイプやディスポーザブルタイプがあります。

体動によりプローブが動くと、動脈と静脈の脈波シグナルの区別ができないことがあり、また、外部光が回り込むと誤差の原因となります。プローブは体型や体重に応じて選択してテープで動かないように固定し、可能な限り動きが少ない部位に装着します。また、プローブと本体回路を接続するケーブルの揺れも、誤差原因になることに留意する必要があります。

プローブを固定するためテープで締めすぎると、血管が過度に圧迫され、装着部局所が循環不全に陥って動脈の脈波シグナルを検出できません。また、発光部の温度は通常は2～3℃上昇し、圧迫により血流が途絶えると代謝によって産生される熱が放散されません。不穏が高度な呼吸不全患者に対して、プローブを外れないように一カ所に強く長時間固定すると、装着局所の温度が上昇して低温熱傷を生じる可能性があります。

発光部と受光部の表面の汚れは、基本的に吸光度の相対比で SpO_2 を算出するため、わずかな汚れは SpO_2 値に影響しません。しかし、高度な汚れは脈波シグナルを減弱する可能性もあり、使用後にエタノールを含んだ脱脂綿で清掃・消毒します。

パルスオキシメータは、受光部に外部光が回り込むと SpO_2 値が影響を受けます。屋外で SpO_2 を測定する場合は太陽光の干渉を受けるため、日陰で外部光が受光部に到達しないように測定すべきです。

末梢循環不全に陥っている患者では脈波シグナルが減弱するために、正確な SpO_2 を測定できない可能性があり、プローブの位置や固定方法により影響を受けます。プローブ装着部位の末梢循環が正常であることを確認してから、SpO_2 を測定しましょう。

携帯電話の使用時も電磁波が放射されるため、医療機関では携帯電話の使用が制限されています。パルスオキシメータも、受光素子（フォトダイオード：PD）が電磁波の影響を受けるため誤差原因となります。

1 プローブの大きさはフィットするものが良いか？ プローブの挟み方は？ 圧迫の影響は？

プローブ装着状態によっては、SpO_2 の誤差や皮膚障害を生じます

体動時に軟部組織や静脈血が動くと、動脈の拍動による脈波シグナルの変動に影響するために SpO_2 値の誤差原因となり、体動時に SpO_2 値が不安定である場合は信頼性が乏しくなります。

装着部に対してプローブが大きすぎると、プローブの動きも加わって体動の影響が大きくなります。また、プローブと本体をつなぐケーブルの揺れもプローブを動かすため、揺れが伝わらないようにテープでケーブルを固定します。指と耳朶プローブの影響については、手指プローブの方が動きによる誤差が少ないと報告されており、一般に手指の大きさと形状は個人差が少ないために耳朶よりプローブは密着し、発光部と受光部での光の散乱変動が少なくなります。

反対に圧迫がきつすぎると動脈拍動が減弱～消失し、測定に必要な十分な脈波シグナルが得られなくなることがあり、プローブは血流がある状態を維持できるように装着しなければなりません。固定がきつすぎると装着部位の低温熱傷や圧迫による皮膚障害が起こりやすくなります。発光部の温度上昇は通常は2℃程度ですが、圧迫により血流が途絶えると代謝によって産生される熱が放散されないため、長時間装着すると局所的に温度が上昇してプローブの圧迫との相乗作用により低温熱傷を生じる可能性があります。

フィンガークリップタイプの挟み方については、SpO_2 の測定に必要な十分な脈波シグナルを得られて、外部光が回り込まないように装着すれば制限はありません。

2 屋外で測定する際の外部光の影響は？

外部光は動脈の脈波シグナルの変動に影響して誤差を生じます

パルスオキシメータは、動脈血だけが拍動していると仮定して脈波シグナルの変動から SpO_2 を測定します。測定中に外部光が受光部に回り込むと誤差の原因となります。

パルスオキシメータの発光は、赤色光の発光・赤外光の発光・両者が発光しない3フェーズを1サイクルとします。機種により異なりますが毎秒数十回から数百回の発光を繰り返し、一定のアルゴリズムを用いて SpO_2 を測定しています。蛍光灯や手術室の無影灯など外部光は、3つのフェーズに影響を与え、誤差の原因となります。またマニキュアは種類によって、発光部から照射した光を強く減衰させることがありますので、外部光の影響を増強する可能性があります。

屋外で SpO_2 を測定する際は、太陽光の赤色光や赤外光の干渉を受けます。最近は安価なこともあり、患者自身が外出や散歩などにパルスオキシメータを携帯することが多くなりましたが、外部光が受光部に到達しないようにするため、屋外で SpO_2 を測定する時は日陰で行うように指示をします。ただし、プローブを完全に遮光していれば問題ありません。遮光は側面方向だけでなく、指の先端方向にも必要です。

3 測定時の手の位置（心臓より高い方が良いか、低い方が良いか？）

プローブが心臓より高くても低くても誤差の原因になります

血圧の低下、手足が冷たくなっている状態、手足の浮腫が高度な状態など、末梢循環不全に陥っている患者ではセンサーが動脈の拍動を正しく検出できません。表示される SpO_2 値は、動脈血酸素飽和度と静脈血酸素飽和度の間の値を示すことがあります。

血圧は血管の部位によりかなりの差があり、大動脈基始部が最も高く、末梢に行くに従って低下します。血圧が低下して血流量が低下すると、動脈拍動による脈波シグナルの変動が小さくなって、SpO_2 の誤差の原因となる可能性があります。プローブの位置が心臓より高いと、プローブ装着部位の血流が少なくなり、低血圧や動脈硬化が高度な患者では脈波シグナルの変動が小さくなります。従って正確な SpO_2 を測定できない原因となります。

一方、プローブが心臓よりかなり低い位置になると、うっ血などで静脈拍動による体動誤差が出やすくなるという問題があります。プローブは可能であれば心臓と同じくらいの高さに置くことが良いでしょう。

プローブ装着部位の末梢循環が正常であることは、1）脈波が表示される場合には波形上に dicrotic notch を伴う脈波シグナルが表示、2）パルスオキシメータの脈拍数と心拍数が等しいことなどにより確認することができます。

4 電気メスは受光素子（フォトダイオード：PD）に影響するか？

電磁波は SpO_2 の誤差原因となります

プローブは、発光素子（発光ダイオード：LED）と受光素子（フォトダイオード：PD）と装着するための素材からなり、フォトダイオード（Photodiode）は光検出器として働く半導体のダイオードです。テレビやエアコン、携帯電話やパソコンのデータ通信の光通信などにおいても、パルスオキシメータと同様に発光ダイオードと組み合わせてフォトダイオードが使用されています。

フォトダイオードは出力インピーダンスが高いため、測定中に電気メスなどの電磁放射の多い医療機器、テレビなどの電化製品など、他の電子機器からの電磁波の影響により正確に SpO_2 が測定できないことがあります。パルスオキシメータは電気メスなどの電気的な外部からのノイズを受けやすいため、フォトダイオードをシールドすることなどで外部の電気的ノイズを軽減する必要があります。

なお、携帯電話の使用時も電磁波が放射されるため、パルスオキシメータの誤差原因となります。医療機関では携帯電話の使用が制限されていますが、近年、第2世代携帯電話が減少し、患者や家族の QOL 向上を目的として、院内においても限定された場所において、携帯電話の院内使用を一部解禁する傾向にあります。しかし、多くの医療機器が稼働している集中治療室や新生児室などでは、携帯電話の電源をOFFにする必要がありますが、切り忘れも多いため携帯電話の通信機能を抑止する装置を導入している施設もあります。

Q1 測定精度に国内外で統一された基準はありますか？

A ISO 80601-2-61（2011）という国際規格では、人を用いた精度試験が要求されています。現在、JIS（日本工業規格）化作業が進行中です。

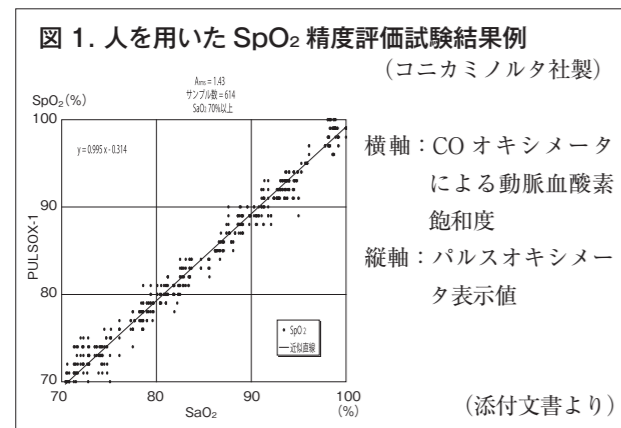
規格化の動向

パルスオキシメータの安全性と基本動作の国際規格 ISO 80601-2-61 が 2011 年に制定されています。その中で、パルスオキシメータの精度には、人を用いた試験が求められています。日本の薬事法に基づく認証基準では、今のところ、疑似信号により試験することで認められています。しかし、疑似信号での試験では精度は確認できず、あくまで動作確認でしかないことが ISO 80601-2-61 では明確にされています。2014 年度内をめどに、この国際規格を基に、国内規格として JIS 化の作業が進められています。JIS 化が完了した後に、薬事認証基準は JIS を参照することになりますので、国内で販売される製品についても、人を用いた精度基準が求められることになります。

試験方法

ISO 80601-2-61 の中では、動脈血の CO オキシメータによる分光測定値を動脈血酸素飽和度の基準としています。被験者の吸入酸素濃度をコントロールすることで動脈血酸素飽和度を変化させ、パルスオキシメータの表示値と CO オキシメータの測定値との対比データを分析し精度を確認します。規格では、70 ～ 100%の酸素飽和度の範囲で、基準値に対して ± 4%以内に、約 2/3 の測定値が入ることが必須の性能として求められています。製造業者が定めた規格値及び人を用いた試験結果は、添付文書や取扱説明書などの付帯文書に記載することも国際規格では必要とされています。既に国際規格に準じた精度確認を実施しているメーカー（日本光電工業やコニカミノルタなど）は、人を用いた試験結果を公表しています（図 1）。

図 1. 人を用いた SpO_2 精度評価試験結果例
（コニカミノルタ社製）

（添付文書より）

Q2 応答性が機種によって異なりますが、なぜですか？

A 安定した測定値を表示するために、過去数秒間の SpO_2 データを平均して表示します。平均する時間によって、応答性が異なります。

SpO_2 計算方法

パルスオキシメータは、脈動を用いて SpO_2 を計算します。1 拍毎の測定値を表示することは可能ですが、ばらつきが大きくなります。そこで、ほとんどのパルスオキシメータは、過去数秒間の SpO_2 データを平均して表示します。常に平均値を更新していきますので、移動平均と呼ばれます。平均時間を長くすれば表示は安定しますが、応答が遅くなります。平均時間をユーザーが設定できる機種もあります。また、できるだけ安定性と応答性を両立させるために、重み付けを加えて平均するなど、各社工夫を凝らしています。そのため、平均時間だけで、単純に比較することはできません。

応答性の使い分け

ISO-80601-2-61 では、応答性に関する特性を付帯文書に示すことが求められています。例えば、「速い」「ふつう」「遅い」の 3 種の平均化設定がある場合（図 2）、短時間の酸素飽和度低下によるアラームを抑制したい場合には「遅い」を、無呼吸の頻度や程度を忠実に記録する場合には「速い」を選択するといった使い分けをしてください。応答性は機器により特性が異なりますので、歩行試験、睡眠時無呼吸など、測定値が変化することが前提とされる用途では、使用機器の特性を確認して測定データを解釈することが必要です。ISO-80601-2-61 では、応答性に関する特性を付帯文書に示すことが求められており、既に国際規格に準じた精度確認を実施しているメーカー（日本光電工業やコニカミノルタなど）は応答性データを公開しています。

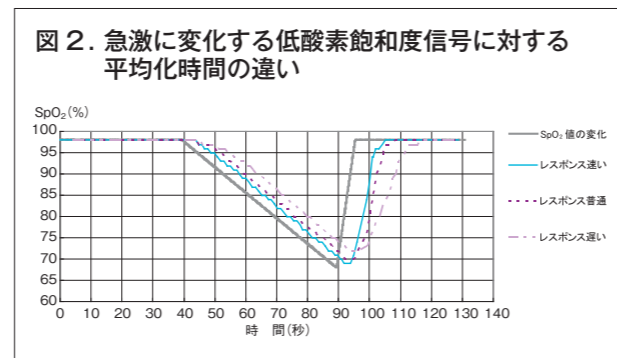



図 2. 急激に変化する低酸素飽和度信号に対する平均化時間の違い

Q3 2つの機種で測定値が違う時、どちらが正しいのですか？　故障ですか？

A 測定部位や応答性など様々な変動要因により、測定値に違いが生じることがあります。故障が原因で測定値がずれることは稀です。

SpO_2 値に影響を与える要因

パルスオキシメータは原理的に校正不要であり、故障によって測定値が微妙に増減することは稀です。しかし体表から光を照射して体内の血液の情報を取り出しますので、血管分布や光の透過経路など、測定部位の状態による変動要因があります。そのため、前出（P12. Q1）の精度規格で述べたとおり、パルスオキシメータの精度はある程度の幅があります。安静時の測定で SpO_2 が 90%以上の場合には、1%のずれは機器間差で普通に発生します。測定部位の状況などで、短時間であれば 2%ずれるということも珍しいことではありません。90%以下では差異はさらに大きくなります。

どちらが正しいかは同時に採血し CO オキシメータで測定するしかありませんので、現実的に証明はすぐには困難です。国際規格に準じた精度確認を実施しているメーカーでは、採血データとの比較データを公開していますので、そうしたメーカーの製品であれば、測定値に一定の信頼性は担保されています。

また酸素飽和度に変動があるときは、前出（P12. Q2）の応答性の違いが測定値に現れます。体動などのノイズによっても影響を受けます。

さらに、製造メーカー指定のセンサーと本体以外の組み合わせで使用した場合、測定結果は保証されません（図 3）。

図 3. 未検証のプローブと本体との組み合わせにより測定値に差が生じた一例

複数のパルスオキシメータの差異確認方法

プローブ分離型では、製造メーカー指定外のプローブを使用されている可能性もあります。まずは、製造メーカー指定のプローブを使用していることを、添付文書により確認してください（P14. Q5 参照）。

複数のパルスオキシメータを比較する場合には、測定部位や応答時間による違いを考慮する必要があります。安静な状態で、2 本の指にプローブを装着し測定値を比較してください。隣の指に装着すると、相互の発光の影響を受けることがあります。光を通さない布などで覆って遮光するか、離れた指に装着してください。また、装着部位による違いがないかを装着している指を入れ替えて確認してください。

測定直後は測定部位の状況が安定していないことも考えられますので、確認時間は健常者で 30 秒程度、呼吸器疾患の患者などでは安静にしてから測定値が安定するまでに数分かかる場合もありますので、測定値が変動している時には 1 ～ 2 分間様子を見てください。

故障かどうかの確認

パルスオキシメータの精度は製造時点でほぼ確定しており、故障によって測定値そのものがおかしくなることは非常に稀です。故障時には、測定値が出ない、測定値ではなく機種独自の何らかのエラーメッセージが出るなど、測定値そのものが表示されないことが通常です。故障かどうかは、その機器の取扱説明書のトラブルシューティングなどを参照してください。

参考文献

・The International Organization for Standardization. Standards catalogue. ISO/TC 121 - Anaesthetic and respiratory equipment. ISO 80601-2-61 : 2011. http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=51847
・SpO_2 モニタリング　パフォーマンスダイジェスト．日本光電工業．
・コニカミノルタ社製パルスオキシメータ　PULSOX-1 添付文書．

Q4 ‣ 価格の違いは精度にも影響しますか？

A 薬事認証されていても国際規格に基づく精度基準を満たしているわけではありません。影響がないとはいえませんので注意が必要です。

薬事認証されているパルスオキシメータの全てが国際規格に基づく精度基準を満たしているわけではありません

日本で販売されているパルスオキシメータは全て薬事法に基づく認証基準を満たしておりますが、現在の薬事認証基準は、国際規格（ISO 80601-2-61）[1]に基づく精度規格がまだ反映されていません（P12. Q1 参照）。カタログなどで記載されている精度も薬事認証に基づくもので、製造業者によっては必ずしも国際規格に基づいていない可能性があります。

国際規格に基づいた精度保証がなされているかは、添付文書や取扱説明書などの付帯文書で人を用いた試験結果を記載しているかなどで確認することが重要です（P12. Q1 参照）。しかし、安価な製品では必ずしも精度に関する情報が公開されていませんので、その製造業者に確認するなどの注意が必要です。

価格差が発生する要因

価格差の発生要因は精度以上に、誤差の発生を抑える工夫や耐久性あるいは落下などの衝撃に対する強さなどの測定性能や品質の違いによるところが大きく関係しています。

血流が正常であれば大きな問題はありませんが、循環不全などで血流量が減少している場合（すなわち患者の状態が悪いとき）には、感知できる信号量が減少するとともに、誤差要因となるノイズが多くなるため測定値は機器の性能に大きく依存することになります。さらに、このような状態での測定値の表示方法も、正しく測定されていない値をそのまま表示するもの、警告とともに表示するもの、警告のみ表示するものなど様々です。現在の値ではなく正確に測定できていた以前の同じ値を継続して表示するものもあります。

血流量が減少しているなど患者の状態の悪い時にも測定できるようにするには当然高価になりますし、悪条件時の測定は無視し、測定可能な条件のみに限定すれば安価にすることも可能です。

また、電子部品や外装部材に安価なものを使うなどで、価格差の要因になる場合もあります。安価だと耐久性が低い、すぐに壊れるなどのデメリットがあることも考えられます。

測定精度や耐久性の違いなどは、添付文書・取扱説明書・製造業者ホームページなどをご覧ください。特に低脈波性能や耐用期間の確認、使用部材や機器の構造等などは製造業者の公開情報を確認してください。

参考文献

1）ISO 80601-2-61 First edition 2011-04-01 Medical electrical equipment - Part 2-61 : Particular requirements for basic safety and essential performance of pulse oximeter equipment.

Q5 ‣ 他社プローブを正規製品である本体に接続することは問題ないですか？

正規製品でないプローブが接続できたとしても、測定値の精度は保証されません。また、熱傷を生じやすくなる可能性もあります。

精度を確保するためには、指定の組み合わせで使用しましょう

パルスオキシメータには、プローブ一体型（ワンハンドクリップ型パルスオキシメータ、フィンガーチップパルスオキシメータ）とプローブ分離型（バイタルサインモニタに組み込まれているもの、据え置き型パルスオキシメータ、ハンドヘルド型パルスオキシメータ、腕時計型パルスオキシメータ）があります。一体型は主に、成人で使用されますが、プローブ分離型は専用プローブに交換することで新生児や幼児でも使用されます。

プローブ分離型では、用途に合わせたリユーザブルあるいはディスポーザブルのプローブを選択可能です。パルスオキシメータの取扱説明書には、接続可能なプローブが指定されています。逆に、プローブの取扱説明書には接続可能なパルスオキシメータの機種が記載されています。パルスオキシメータ、プローブいずれの取扱説明書にも測定精度が記載されていますが、これは、正規のパルスオキシメータとプローブの組み合わせでの検証データであり、仮に、他社のより安価なプローブが接続可能で、SpO_2 測定が可能であったとしても精度は保証されません。また、パルスオキシメータで使用している赤色光と赤外光の波長はメーカーによって異なるため、他社のプローブで正確に測定することは期待できません。

正規品であっても低温熱傷への注意は必要

プローブの光は、LED の発光によるもので、LED は、光交換効率が非常に高いため発熱の少ない光源として知られていますが、やはり発熱しています。プローブが正常に装着された状態で、プローブ発光部直下の温度上昇は 2 ～ 3℃ですが、発熱などで装着部位の皮膚温度が高い場合は、局部的に熱傷を起こす場合があります。また、プローブの圧迫などで発生した褥瘡やかぶれの炎症部位に LED の熱が加わると通常よりも低い温度で熱傷が起こることが知られています。このように、正規品でも発光部分の発熱による低温熱傷の可能性があり、プローブを発熱源であると認識し装着部位の変更が推奨されています。正規品以外のプローブでは、過剰発熱の危険性も危惧されます。

パルスオキシメータを安全に使用するためにも、取扱説明書に記載された精度と安全性が確認されたプローブを使用するべきです。

Q6 ‣ 体動ノイズ除去機能を有する機種がありますが、精度上何か注意すべき点はありますか？

A メーカー毎の異なる体動ノイズ除去アルゴリズムを理解して使用するとともに、ノイズ除去にはプローブを適切に装着することが重要です。

体動ノイズ除去機能で体動時の誤作動が減少

パルスオキシメータの原理は、測定部位で拍動する血液は動脈血のみという前提に基づいています。しかし、患者が体を動かせば静脈血も一緒に拍動します。従来のパルスオキシメータでは、動脈血と静脈血を区別できないため体動時には正しく測定することができず、この体動ノイズが大きな問題でしたが、1990 年後半から、体動ノイズ除去アルゴリズムが発表されるようになり、その後、多くの研究がなされています。

体動ノイズ除去アルゴリズムには、適応帯域フィルタを脈拍に適応させ不要な信号を減衰させる方式、適応くし型フィルタとカルマンフィルタの複合処理、時間領域の処理で静脈血信号を特定して適応フィルタで処理する複合処理、回帰直線を用いた処理などがあり、各メーカーで独自のアルゴリズムが採用されています。また、当初から二波長ではなく多波長化による体動ノイズ除去アルゴリズムも検討されていました。プローブの重量などが問題でしたが、近年のデバイスの進歩により再び注目されています。

体動ノイズ除去機能の有無で誤作動アラームの発生率を術後の患者で比較した研究では、SpO_2 90％以下と測定不能を対象にすると、従来のパルスオキシメータでのアラーム発生頻度は平均 13 分に 1 回で、その 87％が誤作動アラームであったのに対し、体動ノイズ除去機能搭載パルスオキシメータではアラーム発生頻度は 30 分に 1 回、誤作動アラーム 59％に減少したと報告されています[1]。

別の論文では、両手にプローブを装着し、吸入酸素濃度を変えて動脈血酸素飽和度を 75 ～ 100％に変化させて、片手のみ体動させて両手の SpO_2 を比較しています。体動時の SpO_2 とコントロールとの差が 7％以下の時間比率は従来のパルスオキシメータで 47 ～ 68％、体動ノイズ除去機能搭載パルスオキシメータで 97％、誤作動アラーム発生率はそれぞれ、19 ～ 22％、0％と報告しています[2]。

プローブ装着時の注意点

また、プローブが正確に装着されず発光部と受光部が互いに対向しなかったり、隙間ができたりすると一部指を通らずに受光部に到達する光が生じ、ペナンブラー効果と呼ばれる光学的シャントが起きて SpO_2 が低下することが知られています。体動が問題になることが多い新生児や幼児では細い指への装着による皺や隙間によって発生しやすい現象で注意が必要です。体動が想定される場合には、粘着テープで固定できるディスポーザブルタイプのプローブを使用すべきですが、ディスポーザブルタイプのプローブでは成人でも指が太かったり、細かったりすると装着が不適切になることが多くなります。粘着テープ型、あるいは装着にテープを用いるタイプのプローブでは、装着がきついと血管圧迫による脈動の低下や組織圧迫による皮膚障害が起きやすくなりますが、装着が緩いと体動による影響が大きくなります。このように、ノイズ除去には、プローブを適切に装着することも重要です。

参考文献

1）Dumas C, et al. Clinical evaluation of a prototype motion artifact resistant pulse oximeter in the recovery room. Anesth Analg 1996 ; 83 : 269-72.
2）Barker JS, et al. The effect of motion on the performance of pulse oximeters in volunteers (revised publication). Anesthesiology 1997 ; 86 : 101-8.

Q1 プローブは使用後に消毒が必要ですか？

A 複数の患者に使用する場合は、プローブの消毒が必要です。消毒用アルコールを含ませた布でプローブを拭いてください。

プローブはアルコール消毒をしましょう

傷のない正常な皮膚にしか接触しない器具に関しては、通常その日の最後、もしくは、目に見えて汚染されたときに、消毒薬を用いて清掃を行います。消毒する場合は、アルコール綿や消毒用アルコールを含ませた柔らかい布で清拭してください。消毒後はプローブを完全に乾かしてください。

複数の患者に使用する場合は、プローブを介した接触感染を起こすおそれがありますので、患者ごとに使用したプローブを消毒してください。病棟で MRSA、多剤耐性緑膿菌などの患者に使用する場合は、できる限りパルスオキシメータをその患者の個人専用として、使用後はていねいに消毒してください。

Q2 プローブで低温熱傷が生じることはあるのですか？

A 光源である発光ダイオード（LED）の発熱によって、長時間同じ部位に装着すると低温熱傷が生じるおそれがあります。

稀にプローブ装着部位に低温熱傷が生じることがあります

稀にプローブ装着部位に低温熱傷が生じることが、小児や重症患者において報告されています。幼児や末梢循環障害のある患者や、高熱状態の患者、あるいは皮膚の弱い患者の使用に際しては、注意が必要です。長時間使用する場合には同一部位に装着しないで、装着部位を定期的に変える方が安全です。定期的に装着部位を変えるとともに、皮膚に異常がないこと、指先にうっ血が起きないよう循環の状態を確認してください。テープで張り付けるタイプのプローブの多くは、8 時間以内で定期的に装着部位を変えることを推奨しています。プローブの種類によって 30 分から 8 時間程度と推奨装着時間に違いがありますので、マニュアル等で確認してください。連続測定できる機種のプローブを使用した場合でも、同じ部位には 8 時間を超えて装着しないようにしましょう。

プローブを装着した状態での発光部の温度上昇は、通常 2 ～ 3℃程度です。皮膚の温度が 35℃として、プローブを装着しても温度は 37 ～ 38℃くらいにしかなりません。パルスオキシメータの規格でも装着部の温度は 41℃以下と定まっており、42℃ならば 8 時間、43℃ならば 4 時間までの装着に制限されています。また、この温度以下であっても、低温熱傷の発生は非常に少ないですが、稀に発生します。

熱傷の発生は、この程度の温度上昇だけでは考えにくいと思われます。しかし、局所の発熱は、生体では血流によって放熱されています。血流が減少すると熱が十分に拡散されないために、局所的に温度が上昇します。そのため低温熱傷は、測定部位の血流状態や装着部位の皮膚の状態に影響されます。装着部位に過度に圧迫が加わりますと末梢の循環が悪くなり低温熱傷がより生じやすくなります。患者が不穏だからといって、医療用テープなどで固定する際には、強く巻きすぎないように注意してください。

さらに、圧迫だけで潰瘍などの皮膚損傷が起きる場合もありますので、局所の圧迫をできる限り軽減するようにしてください。また痛みやかゆみなどの異常が生じた場合は、直ちに装着部位を変えるか、使用を中止してください。

Q3 繰り返し使用する際の耐久性については、どう考えたら良いですか？

A 長期間の使用を考えるのであれば、通常使用でも故障しない機器を選択することが、総費用の抑制につながります。

機種を選ぶ際には価格だけでなく、耐久性も考えましょう

パルスオキシメータの耐用期間に関しては、機種によって 3 ～ 6 年程度の差があります。耐用期間とは、機器の標準的な使用状況と標準的な保守状況の中で、消耗品等を交換したり、修理・オーバーホールを繰り返したりしても、その機器の信頼性・安全性が目標値を維持できなくなると予想される耐用寿命のことです。保証期間とは無償修理保証期間のことで、ユーザーに過失が無い場合に無償修理に応じる期間のことで、耐用期間とは違います。耐用期間を決定する基準はなく、各社の自己基準となります。

安価な製品では、毎日繰り返して使用すると、短期間のうちにスイッチ部や開閉部に故障を来す危険があります。また指先から落下して破損し、修理が必要になることもあります。パルスオキシメータが重度障害者の日常用具給付の対象となる市区町村も増えていますが、通常 5 年に一度など助成の対象期間が限定しています。短期間で故障すると修理費用は自己負担となります。単純に販売価格で決めるのではなく、丈夫で壊れにくいものを選択することが、結局は総費用を抑えることにもなります。

参考文献

・鵜川貞二．パルスオキシメータの現状および問題点．医科器械学 2007；77：52-9.
・小澤秀夫．パルスオキシメータの規格化．医科器械学 2005；75：863-7.

コラム パルスオキシメータの歴史

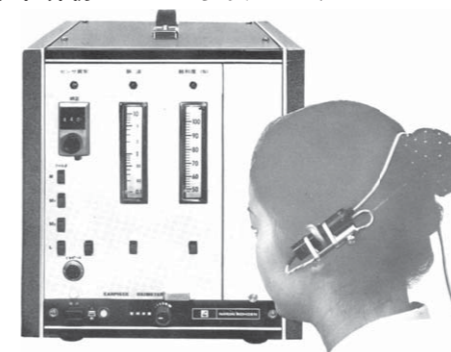
日本で開発されたことを皆さんご存知ですか？

パルスオキシメータの基礎を開発したのは日本人である青柳卓雄氏です。青柳氏は、新潟大学工学部電気工学科を卒業後 1958 年に（株）島津製作所に入社、医療用計測機器の研究開発に従事されました。1971 年には日本光電工業に移り、色素希釈曲線を測定するためのイヤピース法の精度を上げるために、研究用に開発された Wood 型オキシメータの原理を応用する研究を続けられました。その過程で、動脈の拍動による透過光の吸光度変化を捉えれば、動脈血の SaO_2 を選択的に求めることができる点に着目されました。

成果を 1974 年の日本 ME 学会（現・日本生体医工学会）に発表、特許申請も行われ、翌 1975 年にはイヤオキシメータとして図に示す製品が発売されるに至りました。これが世界初のパルスオキシメータです。

私どもの研究室にも 1 台ありました。1976 年にはミノルタカメラがこれを製品化し、さらに色々な改良が加えられ、精度も向上、小型軽量化され、現在の姿になりました。青柳氏はお元気に過ごされていると思います。

（桑平 一郎）

図．世界初のパルスオキシメータ

Q1 患者が診察室に入室してから、いつ測定するのが良いですか？

A 目的により異なり、現在の呼吸状況を検索する目的なら呼吸状態が安定してから、労作によりSpO_2の低下が予想される時は入室後すぐが望まれます。

患者の状態により、対応に注意が必要

外来で患者が待合から診察室に入室する距離は短いものであり、健常者では短時間の歩行は呼吸・循環に大きな負荷となりません。そのような場合は入室直後でも呼吸状態が安定していればSpO_2 ≧ 96％であり、時間とともに変動することはありません。しかし、COPD や肺線維症などでは重症化に伴い運動負荷により呼吸数増加、心拍数増加とともに酸素分圧の低下を伴ってきます。6 分間歩行試験のような強度がなくても、準呼吸不全の状態（70 ≧ PaO_2 ＞ 60mmHg）や呼吸不全の患者では軽度の運動負荷でも（診察室入室の 10m くらいの歩行でも）SpO_2 低下を来すことがありますので、入室後のすぐの SpO_2 測定は軽い負荷をかけた状況での Desaturation を見ている可能性があると考えて、少なくとも 1 分間は装着したまま SpO_2 の変動をチェックする必要があります。座った状況から数十秒で SpO_2 が上昇するようであれば体動により SpO_2 が低下していることを示しています。現在の呼吸状況を検索するために測定するときは、呼吸数や心拍数が安静時に戻っていることを確認してから行う必要があります。

1）在宅酸素療法（HOT）を受けている患者

在宅酸素療法を行うに当たり睡眠時、歩行時、安静時の 3 通りで酸素流量を設定しておく必要があり、外来通院時には治療中のコントロールがうまくいっているかを確認するため、診察時の SpO_2 を定期的に測定します。測定は酸素吸入の状態で測定しますが、診察室に入室時の酸素吸入が安静時の流量か歩行時などの体動時なのかを確認する必要があります。座った時の SpO_2 が 90％を切るようであれば、HOT の流量設定変更を考えなければなりませんし、その時はメモリー機能付きのパルスオキシメータにて体動前後の SpO_2 の変動を検索することが望まれますが、体動時の振動で SpO_2 が変動する可能性がありますので、装着している指を固定する工夫が必要となりますし、SpO_2 の波形や拍動の波形を参考にする必要があります。

Q2 手の冷たい人で値が安定しない時は、どうすれば良いですか？

温かい指があれば測定部位を変えます。全体が冷たい時は手を温めて、パルスオキシメータで拍動が継続して測定できるようにしてから測定します。

パルスオキシメータの測定誤差の要因

パルスオキシメータは精度が高く、誰でも簡単に測定できますが、測定誤差を生じる要因がいくつかわかっています。その中で、日常臨床でしばしば経験されるのが末梢循環不全によるものです。その中で血管障害を伴っている場合と伴っていない場合があります。

1）血管障害を伴っていない場合

寒冷で手指が冷たくなっている時は、末梢血管が収縮しているため血流が低下します。このため動脈の拍動が弱くなり正しく SpO_2 が測定できません。この時は脈拍数が非常に低値に出たり、拍動の強度が非常に微弱になります。気候などで寒冷の影響を受けている時でも、手袋の装着などで他の指がそれほど冷たくなっていない時がありますので、まず他の指を探して測定します。他の指も測定できない時は指を数分間温めることで計測可能となります。

2）血管障害を伴っている場合

日常診療でよく経験されるのが、全身血管障害を伴う疾患で呼吸障害を伴っている場合です。肺線維症を合併している強皮症のように、寒冷に関わらず手指の血流が低下している患者のケースです。夏場でも手指は冷たく、すぐにはパルスオキシメータで測定ができない場合があります。ほかの指を探すことが難しいため、測定前に必ず数分間の温浴をし、手指を温めます。

手指から測定が難しい時は、フィンガークリップタイプではなく耳朶や前額部に粘着テープで固定するプローブを用いるとよいですが、フィンガープローブ以外に別に用意しておかなければなりません。

Q3 往診の際に、SpO_2 値がいくつであったら専門医に相談するべきですか？

A 安静時の SpO_2が 95％以下であれば専門医に相談すべきです。95％を超えていても息切れなどの症状がある時は相談を考慮すべきです。

患者の基礎疾患を念頭に、総合的に判断を

往診時の患者の基礎疾患により異なります。呼吸器疾患や循環器疾患など病態が変化・悪化した時は SpO_2 の低下がみられることが予測される場合と SpO_2 が直接の疾患の病態増悪と関係しない場合があります。健常者の SpO_2 は 96 ～ 99％の間にあり、いずれの場合においても SpO_2 ≦ 90％は呼吸不全と考えられ、早急な専門医への相談にて検査・治療を行う必要があります。往診時に以前測定した数値がわかっていて今回の測定で前値より 3 ～ 4％低下していた時は、基礎病態の悪化の可能性を考え専門医への相談が必要と考えられます。また、95％以下でなくとも日常生活での少しの体動で息苦しさを感じる、夜間睡眠時の息苦しさや起床後の頭痛、全身倦怠感などがある時は安静時のスポット測定では検索できない低酸素血症が存在することがあり、専門医に相談することが望まれます。メモリー付パルスオキシメータがある場合は往診時から翌日までの連続パルスオキシメータで 1 日の SpO_2 変化を検索してから専門医相談を考えてもよいと思われます。

1）基礎疾患に呼吸器疾患や循環器疾患がある時

治療に伴うコントロール状態の把握として SpO_2 の変化は重要な意味がありますので、室内気や在宅酸素療法下でも連続的変化としてスポット測定の数値をモニターする必要があります。在宅酸素治療を受けている患者は安定時でも 90％台が多い状況ですが、さらなる数値の低下は治療内容の変更を考慮する必要性を示しています。喘息の発作強度の判定基準では、呼吸困難や動作の程度で判定し、検査値の一つとして SpO_2 の値を参考にしています（表 1. 参照[1]）。

2）基礎疾患に SpO_2 変動が直接関係しない疾患の時

糖尿病や脳梗塞後遺症などの疾患ではパルスオキシメータでの測定は SpO_2 が異常値を示さないことを確認することになりますが、SpO_2 ＜ 96 となる時は誤嚥性肺炎を合併している、心不全を合併したなどで何らかの呼吸・循環の合併症を来した可能性を考えて専門医療機関への紹介が必要になります。肺炎の重症度判定には A-DROP の R（Respiration: 呼吸）の判定として SpO_2 ≦ 90％の項目が含まれています[2]。

参考文献

1）日本アレルギー学会　喘息ガイドライン専門部会（監）. 喘息予防・管理ガイドライン 2012. 東京：協和企画. 2012.

2）日本呼吸器学会　市中肺炎診療ガイドライン作成委員会（編）. 成人市中肺炎診療ガイドライン. 東京：杏林舎. 2007.

表 1. 喘息症状・発作強度の分類（成人）

発作強度[1]	呼吸困難	動　作	検査値[3]			
			%PEF	SpO_2	PaO_2	$PaCO_2$
喘鳴 / 胸苦しい	急ぐと苦しい 動くと苦しい	ほぼ普通	80% 以上	96% 以上	正常	45mmHg 未満
軽度（小発作）	苦しいが 横になれる	やや困難				
中等度（中発作）	苦しくて 横になれない	かなり困難 かろうじて歩ける	60 ～ 80%	91 ～ 95%	60mmHg 超	45mmHg 未満
高度（大発作）	苦しくて 動けない	歩行不能 会話困難	60% 未満	90% 以下	60mmHg 以下	45mmHg 以上
重篤[2]	呼吸減弱 チアノーゼ 呼吸停止	会話不能 体動不能 錯乱、意識障害、失禁	測定不能	90% 以下	60mmHg 以下	45mmHg 以上

1）発作強度は主に呼吸困難の程度で判定し、他の項目は参考事項とする。異なった発作強度の症状が混在するときは発作強度の重いほうをとる。
2）高度よりさらに症状が強いもの、すなわち、呼吸の減弱あるいは停止、あるいは会話不能、意識障害、失禁などを伴うものは重篤と位置付けられ、エマージェンシーとしての対処を要する。
3）気管支拡張薬投与後の測定値を参考とする。

Q4 在宅酸素療法（HOT）の適応を判断する際、SpO₂ 測定のみで良いですか？

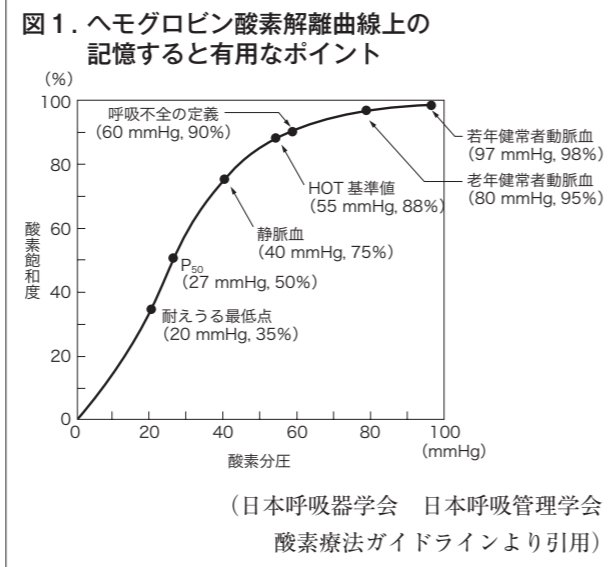
A SpO₂ 測定のみで HOT 適応を判断することができます。HOT の適応基準値 PaO₂ 55mmHg は、SpO₂ 88%に相当します。

適応患者の判定のために

HOT には社会保険が適用されています。対象疾患は、高度慢性呼吸不全例などです。

ただし、室内気にて動脈血酸素分圧（PaO_2）が 55mmHg 以下の者、および PaO_2 60mmHg 以下で睡眠時または運動負荷時に著しい低酸素血症を来す者であって、医師が HOT を必要であると認めた者です。「適応患者の判定にパルスオキシメータによる酸素飽和度から推測した PaO_2 を用いることは差し支えない」とされているため、SpO_2 測定のみで HOT 適応を判断することができます。図 1 に、酸素飽和度から推測した PaO_2 を示します。この図からわかるように、HOT の適応基準値 PaO_2 55mmHg は、SpO_2 88％に相当します。

図 1．ヘモグロビン酸素解離曲線上の記憶すると有用なポイント

（日本呼吸器学会　日本呼吸管理学会 酸素療法ガイドラインより引用）

Q5 公的な診断書を提出する際、SpO₂ を測定する意義はありますか？

A 労作時の SpO₂ は、活動能力の低下を証明する参考所見となります。最重症例等で室内気下の PaO₂ 測定が困難な場合も SpO₂ のデータが参考となります。

SpO₂ が参考所見となるケース

呼吸器系の公的な診断書には、身体障害者診断書（呼吸器機能障害用）や特定疾患の診断書などがあります。障害や疾患の程度の認定には、活動能力、予測肺活量 1 秒率（指数）や PaO_2 が用いられます（表 2、表 3）。ただし活動能力の低下を証明する所見も参考となる場合があります。たとえば労作時の SpO_2 は、活動能力の低下を証明する参考所見となります。また最重症例等でどうしても室内気下の PaO_2 測定が困難な場合も、室内気 SpO_2 のデータが参考となります。

ただし、認定されるかどうかは、あくまでも表 3 の基準が原則になります。

表 2. 障害程度等級表（呼吸器機能障害）

等級	呼吸器機能障害
1 級	呼吸器の機能の障害により自己の身辺の日常生活活動が極度に制限されるもの
2 級	—
3 級	呼吸器の機能の障害により家庭内での日常生活活動が著しく制限されるもの
4 級	呼吸器の機能の障害により社会での日常生活活動が著しく制限されるもの

表 3. 身体障害認定基準

等級表 1 級に該当する障害は、呼吸困難が強いため歩行がほとんどできないもの、呼吸障害のため指数の測定ができないもの、指数が 20 以下のもの又は動脈血酸素分圧が 50mmHg 以下のものをいう。
等級表 3 級に該当する障害は、指数が 20 を超え 30 以下のもの若しくは動脈血酸素分圧が 50mmHg を超え 60mmHg 以下のもの又はこれに準ずるものをいう。
等級表 4 級に該当する障害は、指数が 30 を超え 40 以下のもの若しくは動脈血酸素分圧が 60mmHg を超え 70mmHg 以下のもの又はこれに準ずるものをいう。

Q6 航空機の機内でパルスオキシメータは正しく作動しますか？

A 正しく作動します。航空会社にもよりますが、搭載する医療機器として採用している場合があります。

機内は低酸素環境

航空機は高度 9,000 ～ 12,000m の成層圏を飛行します。上空の気圧が低いため、客室内の気圧も機種により差はありますが 0.8 ～ 0.9 気圧と低くなります。

実際に客室高度を機種別に調査した報告があります[1]。仮に機内を 0.8 気圧、体温 37℃で飽和水蒸気圧を 47mmHg、$AaDO_2$ を 10mmHg、$PaCO_2$ を 40mmHg としますと、$PaO_2 = (760 \times 0.8 - 47) \times 0.21 - 40/0.8 - 10 \fallingdotseq 58$ mmHg となります。これは吸入気酸素濃度に換算すれば、sea level（1 気圧）で約 16％の酸素を吸入する状態に相当します。離陸から一定の高度に達するのに約 20 分とすると、健常人であっても短時間のうちに軽い低酸素血症に陥ることがわかります。

従って COPD など慢性呼吸器疾患の患者や慢性呼吸不全で在宅酸素療法施行中の患者では、さらなる低酸素血症に陥るリスクがあります[2]。このためパルスオキシメータでのモニタリングが是非とも必要になります。

電子機器としての安全性

全ての機器で安全性が確認されているとは言えません。例として挙げますと、コニカミノルタ社製の PULSOX シリーズは、医療機器に適用される EMC 規格（電磁的両立性、すなわち電子機器が共存しても正しく動作することを保証する規格）"IEC60601-1-2" に適合しており、機内でも安全に使用できます。実際に PULSOX-2 を機内に搭載しているフライトもあります。ただし電子機器という点から、離発着時には使用を控える方が無難と思われます。

旅行つながりですが、最近、登山や高所トレッキングにパルスオキシメータを携行する場合が一般的になっています。この点については患者用の Q&A をご参照ください。

参考文献
1）Cottrell JJ. Altitude exposures during aircraft flight: Flying higher. Chest 1988 ; 93 : 81-4.
2）桑平一郎．空の旅の医学・生理学．日胸　2005 ; 64 : 285-92.

Q1 ドクターコールする SpO_2 の値はいくつですか？

A 患者の普段の SpO_2 の値よりも３～4%低下した場合は、急性増悪が疑われドクターコールするめやすになります。

患者の症状が安定した状態での SpO_2 値を把握しておく

健常者の SpO_2 は、およそ 96 ～ 99%の範囲にあり、90%未満であれば呼吸不全が疑われます。慢性の呼吸器疾患や循環器疾患の患者などでは、普段の SpO_2 の値は患者によって様々ですので、病状が安定した状態での安静時の SpO_2 の値、体動時に SpO_2 が低下するかどうかやその低下の程度を把握しておき、現在の SpO_2 の値と比較して理解することが大切です。

具体的には、入院中や検査中の患者で、その患者の基準の（普段の）SpO_2 の値よりも 3 ～ 4%低下したら、呼吸循環動態が増悪している可能性を疑います。特に患者の症状や病状に悪化があれば、ドクターコールして原因が何か精査を要します。SpO_2 が 90%未満であれば、酸素療法も考慮されます。

患者の症状に変化がない場合には、まず SpO_2 の測定値に影響する他の要因がないか（P8 ～ 9 参照）を確認します。特に重症患者では、心不全、低体温、循環血液量の減少、カテコラミンの増加、ショックなど末梢循環不全となりやすく、低酸素血症がないにも関わらず、SpO_2 が低い値を示すというようなことがありえます。また、ヘモグロビンの酸素との結合性の特徴から、高体温、pH 低値（アシドーシス）や高炭酸ガス血症では、ヘモグロビンの酸素解離曲線が右に移動し、同じ PaO_2 でも SaO_2 は低くなりますので、SpO_2 の値から PaO_2 を予測する場合にはこのような影響があることにも注意する必要があります（図 1）。

四肢の末梢循環障害がある場合は、手指、足指の脈拍振幅が小さくなり正しい測定が困難になりますので、血液供給が比較的保たれる頭部のプローブ（耳朶、鼻梁、前額）を用いるとよいでしょう。プローブの装着の確認や測定部位を変えるなどしてもなお SpO_2 の値が低い場合は、動脈血ガス分析を行うことで低酸素血症が生じたのかどうかを確認できます。

参考文献

・日本呼吸器学会　肺生理専門委員会，日本呼吸管理学会　酸素療法ガイドライン作成委員会（編）．酸素療法ガイドライン．東京：メディカルレビュー社．2006.

・日本呼吸器学会　肺生理専門委員会「呼吸機能検査ガイドラインⅡ」作成委員会（編）．呼吸機能検査ガイドラインⅡ ― 血液ガス，パルスオキシメーター―．東京：メディカルレビュー社．2006.

Q2 パルスオキシメータと自動血圧計を同時に使用する際の注意点は？

A 自動血圧計のマンシェットより末梢側にパルスオキシメータのプローブを装着すると正しい測定ができませんので注意しましょう。

測定時に、血流障害や循環不全を起こさないように注意

パルスオキシメータは、脈波を検知して、動脈血由来の吸光成分を分析し、SpO_2 を測定しています。従って、プローブを装着した部位の血流障害や循環不全があると正しい測定ができないことになります（測定に影響する因子：P8 ～ 9 参照）。このことから、モニタリングとして、パルスオキシメータと自動血圧計とを同時に使用する場合、自動血圧計のマンシェットと同側の末梢側にパルスオキシメータのプローブを装着すると、血圧測定時に血流阻害が生じて、脈波が得られずに SpO_2 を測定することができません。

パルスオキシメータと自動血圧計とを同時に使用する際には、例えば、自動血圧計と反対側の上肢にプローブを装着するなど注意が必要です。

Q3 SpO_2 の値をいくつに維持するよう酸素吸入をすべきですか？

A 一般的には、SpO_2 90%以上を目標として酸素吸入を行いますが、換気状態にも留意し、適宜、動脈血ガス分析を行うことも必要です。

酸素療法は、SpO_2 値だけで管理しない

酸素療法では、一般的に、およそ PaO_2 60mmHg 以上に相当する、SpO_2 90%以上を目標として酸素吸入を行います。心不全患者や病状が不安定な患者などでは、安全域をとって SpO_2 95%以上を目標とすることもあります。しかし、SpO_2 が高ければ高いほどよいというわけではありません。

まず、過剰な高濃度酸素療法を続けると、酸素中毒による肺傷害のリスクがあります。また、パルスオキシメータのみでは、$PaCO_2$ や pH が評価できていないことに注意するべきです。特に高炭酸ガス血症を伴うⅡ型呼吸不全の患者では、PaO_2 が高すぎると CO_2 ナルコーシスのリスクが高くなるので、SpO_2 の値だけでなく換気状態にも留意しなくてはなりません。このような患者に酸素投与して SpO_2 が例えば 100%だから良好だとか、酸素投与中にモニタリングしていて、SpO_2 が上昇したから病状が改善したなどと短絡的に判断してはいけないのです。むしろ、過量の酸素投与や換気量の減少による CO_2 ナルコーシスからアシドーシスを来している危険が大いにあり得ます。従って、酸素療法ではパルスオキシメータでの SpO_2 の値を見るだけでなく、動脈血ガス分析で、$PaCO_2$ や pH の値も確認して、適切な酸素投与量に調整する必要があります。

その他に注意すべき例としては、一酸化炭素中毒患者でも SpO_2 は見かけ上高くなってしまうため、動脈血ガス分析をして評価することが必要となります。

このように酸素療法においては、パルスオキシメータの値だけでなく、自覚症状、呼吸パターン、意識状態や循環状態などを観察し、適宜、動脈血ガス分析を行って総合的に管理することが大切です。

図 1. ヘモグロビン酸素解離曲線に影響を及ぼす因子

（%） 100 / 80 / 60 / 40 / 20 / 0
90%…
酸素飽和度
・高体温
・2,3-diphosphoglycerate ↑
・pH ↓
・P_{CO_2} ↑
0　20　40　60
酸素分圧 (mmHg)

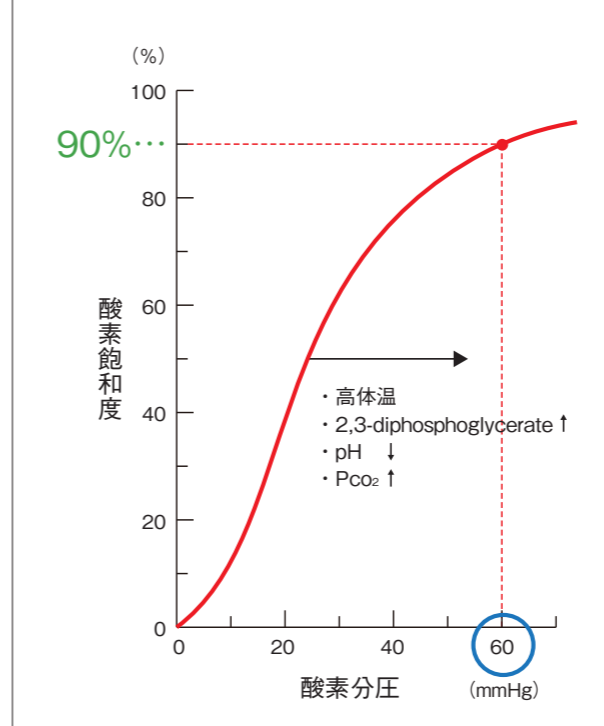



表 1. 呼吸不全の定義（呼吸不全調査研究班）

呼吸機能障害のため動脈血ガスが異常値を示し、そのために正常な機能を営むことができない状態で、室内気吸入時 PaO_2 が 60mmHg 以下となる呼吸器系の機能障害、またはそれに相当する異常状態をいう

表 2. 呼吸不全の分類

- 急性か慢性か、病態の経過による分類
  慢性呼吸不全とは呼吸不全状態が少なくとも 1 カ月以上持続する場合をいう
- 成因による分類
  Ⅰ型呼吸不全：$PaCO_2 \leqq 45$mmHg
  Ⅱ型呼吸不全：$PaCO_2 > 45$mmHg

Q4 体動時は数値が安定しません。どの値を見るべきですか？

A 体動時には、てのひらを開いてプローブを着けた指を前胸部に固定し、動かないようにします。表示される値が安定したら読み取って採用します。

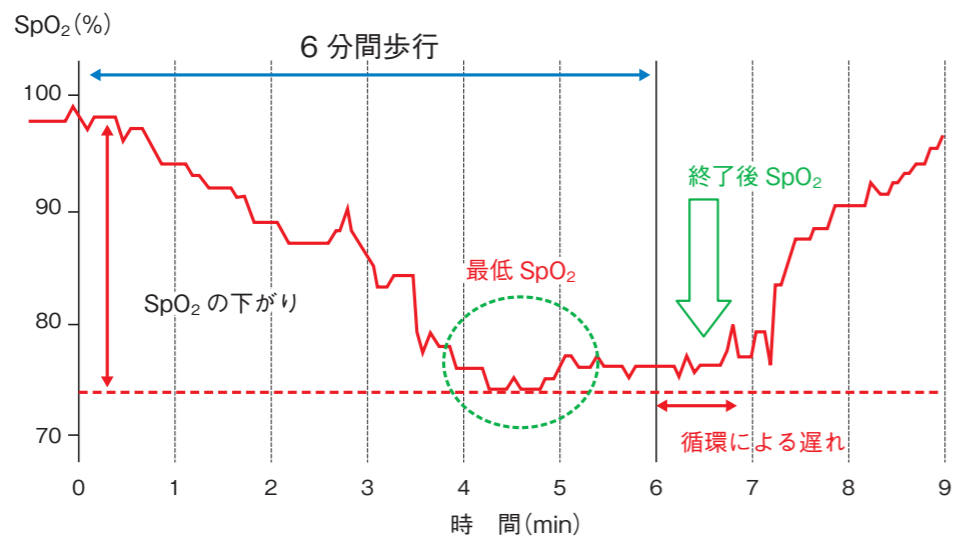
体動時の測定について

歩行中、食事中、トイレなどでSpO_2を測定すると、表示される値はなかなか安定しないと思います。

SpO_2のプローブ自体が動きに弱い面があります。従って測定にはまず、プローブを動かさないことが必要です。歩行、運動、トイレなどでの測定は、てのひらを開いてプローブを着けた指を胸にしっかり固定することです。健常者で6分間歩行時のSpO_2を連続的に測定した時の記録を見ると、通常の歩行速度では胸への固定で体動の影響は見られませんでしたが、パルスオキシメータの機種や個人差もあると思われます。図2は肺疾患患者の6分間歩行試験でSpO_2を連続的に記録したものですが、やはりプローブを着けた指を前胸部に固定しています。歩行中の最低値は、一定の時間継続する値をとればよいことを示しています。体動の影響を避けるため6分間歩行試験では歩行を終了または停止した直後にSpO_2を測定することもありますが、肺から指先まで循環による遅れが30秒ほどありますから、歩行直後に測定すれば歩行中の最低値に近い値が得られます。

次に体動が一定の強さでないと意味のある測定値が得られません。また安静から歩行のように体の状態が変化する時はSpO_2も不安定になりがちで、一定の状態（恒常状態と呼びます）になるには2～3分を要するといわれます。図2でもSpO_2が、安静時からだんだん下がっていく様子が見てとれますし、歩行試験終了後は速やかにSpO_2が上昇しています。このような変化時の値は採用できません。厳密に言うと体動時といっても、運動の強さが一定で恒常状態になっていない時の値は採用できないのです。

結論として体動中の測定はプローブを胸に固定し、SpO_2の値が安定したら採用しますが、その値は参考値と考えていただきたいと思います。歩行中の酸素吸入の必要性については一定の速さで歩行していれば評価できるでしょう。

図2. 6分間歩行試験時のSpO_2連続記録

Q5 吸引して分泌物をとったのに、その後SpO_2が低下しました。なぜですか？

A SpO_2低下が継続するなら、病態の変化を確認しましょう。吸引終了後1～2分で回復すれば、一過性の低下で循環の遅れを反映したものです。

吸引後のSpO_2の変化

吸引は気道内の分泌物などを排除して気道閉塞を改善し、換気を良くするために行われます。臨床現場では、①口腔内吸引、②開放式気管内吸引、③閉鎖式気管内吸引の3種類の方法が用いられ、それぞれガス交換、すなわちSpO_2に及ぼす影響が異なります（表3）。

また吸引後SpO_2の低下が回復せずに遷延する時は、病態自体に変化がないかを確認する必要があります。吸引手技自体に起因する無気肺なども起こり得ますが、気胸を発生していたり、病態自体が悪化していて、吸引手技を契機として発見されることもあるので注意が必要です。

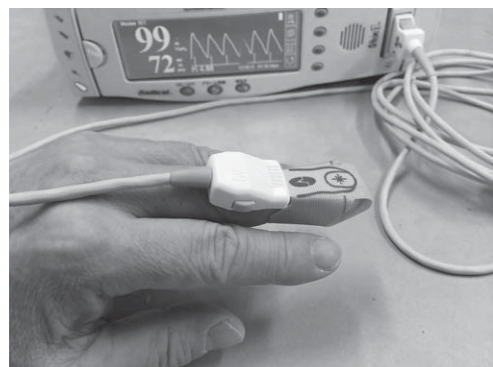
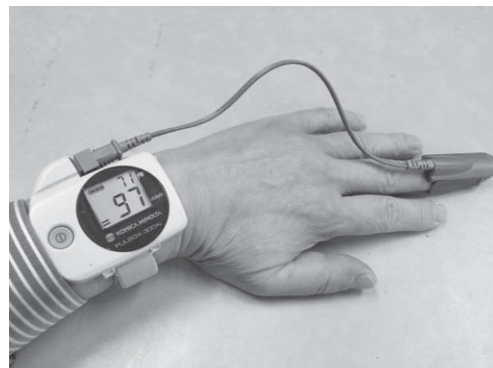
表3. 臨床現場で行われる吸引の方法と注意点

方法	内容
①口腔内吸引	口腔内吸引は口腔内や咽頭周囲の吸引を行うことで口腔内分泌物を減らし、排痰を誘発して気道閉塞を改善するものです。一般にガス交換への影響は少ないと考えられます。
②開放式気管内吸引	開放式気管内吸引は気管内挿管もしくは気管切開時などに、人工呼吸器をいったん外し、吸引を行うことです。人工呼吸を停止することと、気道内陽圧が低下すること、さらに肺内の空気を吸引するため肺気量が低下します。ガス交換への影響は大であり、SpO_2低下を認めることも多いと思われます。ジャクソンリースを用いて吸引前後の換気を確保する必要があります。このようなSpO_2の低下は循環の遅れによって20～30秒ほどの時間差をもって検出されます。1回の吸引手技は10～20秒くらいで素早く行い、その後のSpO_2の変化を確認する必要があります。間隔をあけSpO_2の回復を待って吸引を行うようにします。
③閉鎖式気管内吸引	閉鎖式気管内吸引では人工呼吸器に接続したまま吸引が行えるため、感染防御とSpO_2低下防止が行いやすい利点があります。ただし閉鎖式の吸引キットが必要となります。それでも吸引時には気管を刺激するため、咳が出現しますし、人工呼吸中なら軽いファイティングが生じます。呼吸不全の高度のときや急性呼吸促迫症候群や間質性肺炎の増悪などでは、SpO_2の低下が生じます。

6分間歩行試験（6MWT）や運動負荷試験の際の疑問点

Q1 SpO₂ が連続測定できる機種とできない機種がありますが、使用方法の違いは何ですか？

A 患者の状態を常に監視する場合や、歩行試験中の SpO_2 の変化を調べる時に連続測定できる機種を使います。

図 1. 連続測定可能なパルスオキシメータ

下はプローブに粘着型を使用している

クリップ式プローブは装着する指をときどき替える

連続測定できる機種とは SpO_2 と脈拍を連続記録（保存）することができるパルスオキシメータのことです。睡眠中や歩行中の SpO_2 の変化、集中治療室での患者の SpO_2 の推移を見るために使います。指先を上下に挟むクリップ式プローブは、長時間同じ場所を圧迫すると、その部位の血流を減少させるため（乳幼児の場合は体動の影響も重なり影響が強い）、長時間の連続測定にはプローブを着けた指をときどき変えます（2 時間毎に装着部位の皮膚を観察し、同じ部位に 8 時間を超えて装着してはいけない）。

連続測定できない機種とは、外来や病棟で SpO_2 をその都度測定するものです。連続記録ができないぶん安価です。この種の機種のプローブはクリップ式です。

図2. 連続測定ができないパルスオキシメータ

Q2 安静時と運動中および運動後、SpO₂ をどのように評価しますか？

A プローブを装着した指を動かすと SpO_2 は正確に測定できません。体動の影響で誤表示されます。

運動中の SpO₂ 表示は信頼できない

プローブを装着した指を動かすと SpO_2 は正確に測定できません。その理由は、プローブ先端の発光部と反体側の受光部の皮膚との接触面が体動により前後左右に動くからです。また、運動により拍動が大きく変動することも影響しますし、増加した心拍出量により、静脈も拍動する可能性もあります（詳細は P15. Q6 を参照）。そのため、プローブを装着した指と腕は、測定中は動かさないようにしなければなりません。

1）安静時

プローブを着けた指を動かさないようにして、脈拍のシグナルを強く検出していることを確認して、数値を読み取ります。

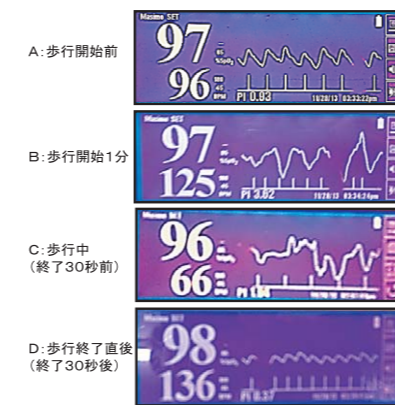
2）運動時

パルスオキシメータは本来体動の影響を強く受ける装置です。そのため、運動中の SpO_2 測定はその限界をしっかりと理解し、測定値の判断には特に注意が必要です。

あえて測定する時は、運動中（歩行中）はできるだけプローブを着けた腕（指）を動かさないようにします。それでも、足を一歩一歩動かすたびに振動で指先は揺れます。この影響は程度の差はあれ必ず出ます。また、その程度に個人差があり、体動の影響を受ける人と、あまり受けない人がいます。

対策として、体動の影響を受けにくいパルスオキシメータや粘着型プローブを使用するなどを検討すべきです。しかし、これらの対策をとっても十分でないこともあります（静脈拍動の影響は除外できない）。

表示される運動中の拍動の波を直接観察しながら SpO_2 を読み取ると体動の影響かどうかを判断できますが（図 3）、携帯型パルスオキシメータではできませんので、測定終了後モニター上に SpO_2 と脈拍の経時変化を描かせ、体動の影響を受けているかどうかを判断します（P28. Q3 参照）。

図 3. 68 歳、健常男性の 6 分間歩行試験中の SpO_2 のモニター画面

体動の影響を除くため、粘着型のプローブを使用。歩行中（B と C）の波形をみると、体動の影響を受け、上下に大きくみだれています。

C では脈拍数も 66/ 分と表示されています（本当は D に示す 130 ～ 140/ 分）。

歩行終了直後、プローブを着けた腕を動かさないようにした状態のモニター画面（D）を見ると、拍動は安定し、SpO_2 は 98％、脈拍は 136/ 分を表示しています。

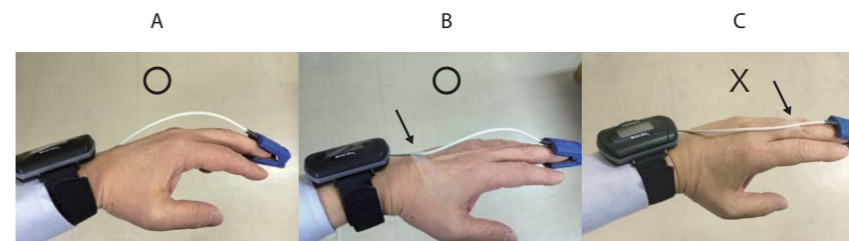
この例からも、粘着型テープを使っても、歩行中は体動の影響を受け、表示される SpO_2 や脈拍の信頼性は極めて乏しいことがわかります。

3）運動直後

安静時と同じようにプローブを着けた指を動かさないようにして、脈拍のシグナルを強く検出していることを確認して、数値を読み取ります。SpO_2 の表示は移動平均を採用しています。機種により移動平均時間あるいは移動平均拍動数は異なりますが、8 秒か 8 拍前後の装置がほとんどです（装置によって移動平均時間（拍）は変更できます）。この移動平均時間と肺から指先までの循環時間を加えた時間が読み取る最短の時間になります。だいたい、プローブを着けた腕を動かさないようにしてから 20 ～ 30 秒後の値を読み取るとよいでしょう。

重要なことは、運動中に表示される SpO_2 値の信頼性は低いということを理解していることです。運動中の SpO_2 は、その数値を盲目的に信じず、患者の状態とあわせて総合的に評価すべきです。

なお、体動の影響をできるだけ除くために、プローブと本体の間のコードをテープで手の皮膚に固定する人がいます。しかし、図 4. C のように、コードをプローブ側に近いところを固定すると、指先のわずかな動きでプローブの皮膚接触面と皮膚とがずれ、SpO_2 の値が変動します。そのため、ある程度“あそび”をもってコードをテープで固定するか（図 4. B）、あるいは固定しない（図 4. A）でください。

図 4. プローブコードの止め方

テープの位置を↓で示しています。

A：プローブコードをテープでとめない
B：プローブコードを手の甲のところでテープでとめる
C：プローブコードを指のところでテープでとめる

A と B はコードに“あそび”があるので、プローブを着けた指が動いても問題ないですが、C ではコードに“あそび”がないため、指先がわずかに動いただけで、SpO_2 が変動します。

参考文献
・Barthelemy JC. et sl. Accuracy of pulse oximetry during moderate exercise: a comparative study. Scand J of Clin & Labor Invest 1990 ; 50 : 533-9.
・ATS statement: Guidelines for the six-minute walk test. Am J Respir Crit Care Med 2002 ; 166 : 111-7.

Q3 ▸ 運動中に SpO_2 値が低下する場合、どう評価したら良いですか？

A 2つの可能性があります。1つは、本当に SpO_2 が低下している可能性、もう1つは、体動の影響で、見かけ上 SpO_2 が低下している可能性です。

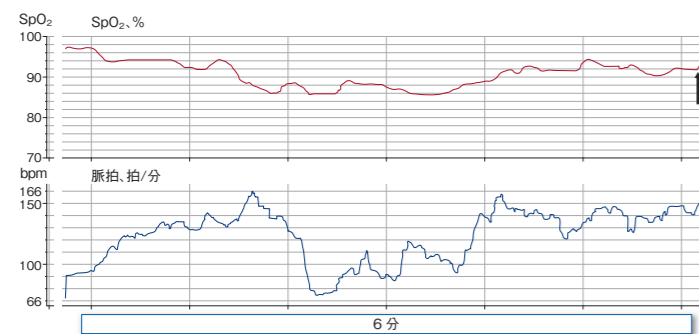
運動中の SpO_2 は、モニター上で SpO_2 と脈拍の波形と推移を見て判断

2つの可能性があります。1つは、本当に SpO_2 が低下している可能性、もう1つは、体動の影響で、見かけ上 SpO_2 が低下している可能性です。

両者の鑑別は難しいですが、歩行中の患者の状況を十分把握した上で、歩行中の SpO_2 の表示が安定していること、かつ、表示画面の脈拍のシグナルの強さが取扱説明書に記載されている通りかどうかを確認し、判断します（P26. Q2 参照）。

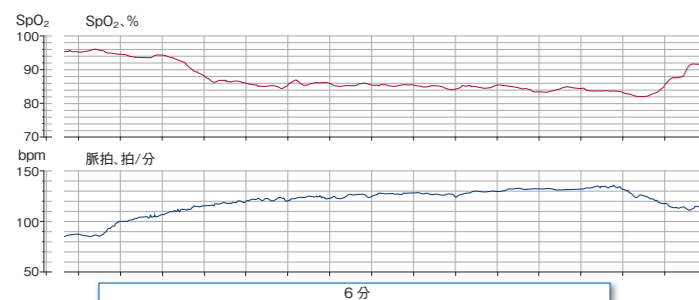
なお、歩行試験と違い、トレッドミル運動やエルゴメータ運動負荷中はプローブを着けた指を動かさないようにできますので、この時の SpO_2 表示は比較的信頼性が高いといえます。

運動中の SpO_2 と脈拍を記憶させ、検査終了後にパソコン画面上で時間経過を確認できる機種であれば、これらの時間経過をパソコンの画面で確認することで、SpO_2 の低下が本当かどうかを区別できます。例えば、脈拍の変化が安定していれば、SpO_2 は比較的信頼できます。

図 5. 体動の影響により、見かけ上 SpO_2 が低下している場合

被験者（60 歳、健常男性）は歩行中ほぼ一定のスピードで歩いていました。

しかし、脈拍も SpO_2 もめまぐるしく変動しています。

また、歩行終了直後の SpO_2 の回復も急峻（図中↑）です。体動の影響を受けており、正しく測定されていないと思われます。

図 6. SpO_2 が真に低下している場合

被験者（69 歳、男性、特発性肺線維症）の SpO_2 は歩行開始とともに低下し、歩行後半はほぼ一定の値（低下）を示しています。

また、歩行終了直後の SpO_2 の回復も歩行終了後はゆっくりと回復しています。脈拍の変化を見ると、歩行開始から増加し始め、後半はほぼ一定で安定しています。真に SpO_2 が低下したと判定できます。

Q4 ▸ 歩行を中断や中止した際の SpO_2 値の評価はどうしたら良いですか？

A 立ち止まった状態で、パルスオキシメータのプローブを動かさないようにして SpO_2 を読み取ります。

歩行中の低酸素血症の有無は、SpO_2 の数値のみで判断せず、全身状態を見て総合的に判断

歩行を中断あるいは中止した時点で、椅子に座らせるか、そのまま立位のまま、パルスオキシメータのプローブを着けた指と腕を動かさないようにし、かつ、表示される脈拍のシグナルが規則正しく、かつ、製品説明書に記載された"強さ"であることを確認してから SpO_2 値を読み取ります。時間にして 20 秒前後は必要です。結局、読み取るまでに時間がかかるので、歩行中止したその瞬間の SpO_2 値は体動による影響で信頼性が乏しく、参考値にとどめるべきです。

Q5 ▸ SpO_2 値をワイヤレスでとばし、パソコン上に表示できる機器がありますが、データの解釈はどうすべきですか？

A SpO_2 と脈拍の数値のみパソコン上に表示する機種は低酸素血症の有無をただしく判定できません。

SpO_2 の数値にだまされない

SpO_2 値は体動の影響を受けるため、患者の動きを把握した上で評価します。

パソコンのディスプレイにその瞬間の数値のみ表示する機種は、何を見ているのかわかりません。SpO_2 値の時間経過もあわせて表示する機種であれば、その変化を見て体動の影響かどうかを判断します（前出 P28. Q3 参照）。脈拍のシグナルも同時に表示される機種であれば、その拍動波形から体動の影響の有無を判断できます（P26. Q2 参照）。

Q1 簡易検査で用いられる酸素飽和度低下指数（ODI）は無呼吸低呼吸指数（AHI）と同じですか？

A 簡易検査で用いられる ODI は検査一時間あたりの指数であるため、睡眠一時間あたりの指数である AHI より小さい値を取ることが多い。

どの単位時間あたりなのかをしっかり把握すること

一般的に簡易検査では脳波電極を装着しません。従って、簡易検査上の全ての睡眠呼吸障害指数は検査一時間あたりの指数ということになり、睡眠一時間あたりの指数である AHI とは異なります。もし被験者が検査機器が気になって眠れなかったりした場合、実睡眠時間が検査時間よりも短くなり、必然的に簡易検査上の睡眠呼吸障害指数は過小評価されることになります。

ただ、一般的に簡易検査は装着が簡単であり、自宅で施行可能であるため、スクリーニング機器としては有用なものです。必要に応じて適切な検査機器を選択すること、そして検査機器から得られた結果は指数値に目を通すだけで終わるのではなく、その検査機器の特性および実波形を確認して簡易検査から得られた結果の妥当性を評価しておくことも大事だと考えます。また近年では精巧な加速度計を用いた装置であるアクチグラフは睡眠時間をある程度正確に推定できるようになっており、簡易検査と並行してアクチグラフを併用することで、より簡易検査の睡眠呼吸障害指標の正確性が改善されると思われます。

なお、一般的に簡易検査における睡眠呼吸障害指標は AHI ではなく、Respiratory disturbance index（RDI）が用いられることが多いですが、AHI と RDI の明確な定義は現在をもって未だ不明確であることを追記しておきます。

Q2 無呼吸の時間が同じなら SpO_2 の低下の程度は同じですか？

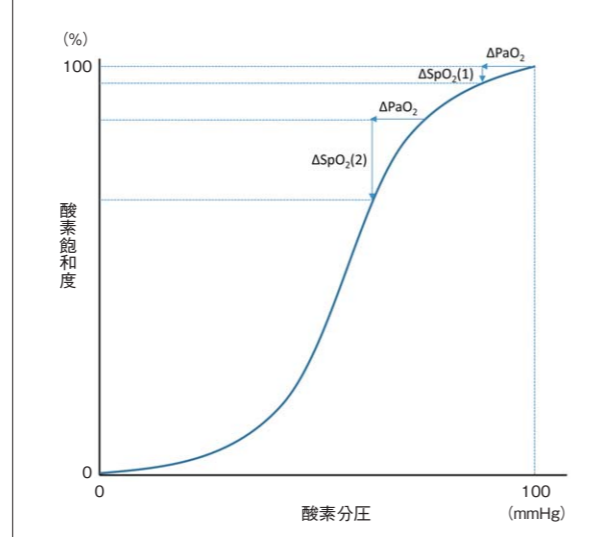
A 無呼吸前の SpO_2 の値や被験者の肥満度によって異なります。

酸素飽和度解離曲線の特性について

同じ長さの無呼吸では低下する動脈血酸素分圧（PaO_2）の程度はほぼ同じですが、無呼吸開始前の PaO_2 次第で SpO_2 の低下の程度は異なります。これは酸素飽和度解離曲線の特性を考えれば理解できると思います。図 1 のように PaO_2 の低下幅が同じ Δ PaO_2 であっても SpO_2 の低下は全く違う（Δ SpO_2（1）と Δ SpO_2（2））ことがわかるでしょう。つまり無呼吸開始前の SpO_2 が高ければ、SpO_2 の低下は小さくなるので、酸素飽和度低下指数（ODI）は過小評価されてしまうことになります。従って患者個々のベースライン SpO_2 を確認することは非常に大事ですし、夜間酸素吸入しながらの SpO_2 のモニタリングには注意が必要です。

図 1. 酸素飽和度解離曲線の特性

肥満の影響について

肥満者では仰臥位になることで蓄積した内臓脂肪が横隔膜を押し上げることになります。さらに睡眠時には呼吸補助筋の活動性が低下し、胸郭および横隔膜が頭側に変位するため肥満特有の肺気量分画の変化が生じます。つまり機能的残気量（FRC）や呼気予備量（ERV）が減少します。また呼吸機能上の末梢気道閉塞指標であるクロージングキャパシティー（CC）が FRC を超えることも肥満者ではよく経験することです。このような肥満者特有の呼吸機能特性は、持続時間の短い無呼吸低呼吸であっても酸素飽和度低下の程度が大きくなるひとつの原因であると考えられています。

Q3 酸素飽和度低下指数（ODI）は肥満の影響を受けますか？

A ODI は肥満の程度によって影響を受けます。

2%酸素飽和度低下指数（ODI2）にも注目すること

前出（P30. Q2）の項でも述べましたが、同じ無呼吸時間であっても呼吸機能特性から肥満度によって酸素飽和度低下の程度は異なります。よって特にスクリーニング検査にパルスオキシメータを用いる場合には、肥満度を考慮し場合によっては 2%酸素飽和度低下指数（ODI2）にも注目することが必要となります。顎顔面形態学的な特徴からわが国の閉塞型睡眠時無呼吸症候群（OSAS）患者の肥満度は欧米に比較して決して高いものではありません。つまりわが国を含む東アジア諸国には非肥満者にも数多くの閉塞型睡眠時無呼吸症候群（OSAS）が存在しているのです。そのような非肥満 OSAS では短時間の無呼吸低呼吸で SpO_2 が 4%あるいは 3%も下がらないことが少なくありません。従ってスクリーニング検査としてのパルスオキシメータを評価する際、被験者の肥満度に応じて注目する酸素飽和度低下指数を変更する必要があるでしょう。特に Body mass index（BMI）$25kg/m^2$ 未満の症例では ODI3 とともに ODI2 を参考にしてみることで、偽陽性例を減らすことができます。

参考文献

・中野　博．パルスオキシメータによる睡眠時無呼吸症候群スクリーニング．医療　2009；63：291-7.

おわりに

本書の目的は、正しいパルスオキシメータの機器選択とその使用法を知っていただくことにあります。2013 年春、日本呼吸器学会のパルスオキシメータ小委員会が中心となって、まずは Q&A の設問部分を各委員にご作成いただきました。その後、ご提案いただいた設問を整理し一般医療者向けと患者さん向けに分類、肺生理専門委員会のメンバー全員で回答部分を分担執筆いたしました。なるべく多くの設問を採用したかったのですが、できるだけコンパクトにまとめるという方針もあり、今回のような様式となりました。まだまだ不足している部分もあると思いますが、パルスオキシメータを日常ご使用になる患者さんや医療従事者の皆様のお役に立てれば幸いです。

なお、世界に先駆け、パルスオキシメータを開発された青柳卓雄先生に心からの敬意を表したいと存じます。青柳先生は、この功績に対し 2001 年に紫綬褒章を受章なさいました。

2014 年 3 月

日本呼吸器学会　肺生理専門委員会　副委員長
パルスオキシメータ小委員会　委員長　桑平　一郎